

UNIVERSITÉ DE PARIS

ÉCOLE SUPÉRIEURE DE PHARMACIE

Année 1908-1909

N° 7

ÉTUDE

SUR

L'ATTAQUE DU PLOMB PAR LES EAUX NATURELLES

et sur les divers moyens proposés pour y remédier

THÈSE

Pour l'obtention du diplôme de Docteur de l'Université de Paris

(PHARMACIE)

PRÉSENTÉE ET SOUTENUE LE 1^{er} JUILLET 1909

PAR

FERRIER (OLIVIER-MARIE-CLÉMENT)

Né à La Guerche-de-Bretagne, le 23 Novembre 1872

PHARMACIEN DE 1^{re} CLASSE

PRÉSIDENT DE LA SOCIÉTÉ DES PHARMACIENS D'ILLE-ET-VILAINE

JURY } MM. BOUCHARDAT, Président.
GRIMBERT, Professeur.
GUÉGUEN, Agrégé.

VITRÉ

IMPRIMERIE ÉDOUARD LÉCUYER, BOULEVARD PIERRE-LANDAIS

1909



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41547127_0070

UNIVERSITÉ DE PARIS

ÉCOLE SUPÉRIEURE DE PHARMACIE

Année 1908-1909

N° 7

ÉTUDE

SUR

L'ATTAQUE DU PLOMB PAR LES EAUX NATURELLES

et sur les divers moyens proposés pour y remédier

THÈSE

Pour l'obtention du diplôme de Docteur de l'Université de Paris

(PHARMACIE)

PRÉSENTÉE ET SOUTENUE LE 1^{er} JUILLET 1909

PAR

FERRIER (OLIVIER - MARIE - CLÉMENT)

Né à La Guerche-de-Bretagne, le 23 Novembre 1872

PHARMACIEN DE 1^{re} CLASSE

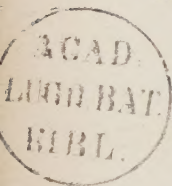
PRÉSIDENT DE LA SOCIÉTÉ DES PHARMACIENS D'ILLE-ET-VILAINE

JURY { MM. BOUCHARDAT, Président.
GRIMBERT, Professeur.
GUÉGUEN, Agrégé.

VITRÉ

IMPRIMERIE ÉDOUARD LÉCUYER, BOULEVARD PIERRE-LANDAIS

1909



PERSONNEL DE L'ÉCOLE SUPÉRIEURE DE PHARMACIE

ADMINISTRATION

MM. GUIGNARD, Directeur, Membre de l'Institut, O. ,  I.
BOUCHARDAT, Assesseur, O. ,  I.
E. MUSSON, Secrétaire,  I.

PROFESSEURS

MM. BOUCHARDAT, O.  ,  I.	Hydrologie et minéralogie.
GUIGNARD, Membre de l'Institut, O.  ,  I.	Botanique générale.
VILLIERS-MORIAMÉ,  ,  I.	Chimie analytique.
BOURQUELOT,  ,  I.	Pharmacie galénique.
GAUTIER,  ,  I.	Chimie minérale.
RADAIS,  I.	Cryptogamie.
BÉHAL,  ,  I.	Chimie organique.
PERROT,  ,  I.	Matière médicale.
COUTIÈRE,  I.	Zoologie.
BERTHELOT,  I.	Physique.
GRIMBERT,  I.	Chimie biologique.
MOUREU,  ,  I.	Pharmacie chimique.
LEBEAU,  I.	Toxicologie.

Professeurs honoraires : MM. MARCHAND,  I,
JUNGFLEISCH, O. ,  I.

AGRÉGÉS EN EXERCICE

MM. GUERBET,  I.	MM. GUÉRIN,  I.
DELÉPINE,  I.	GUÉGUEN,  I.
TASSILLY,  I.	LUTZ,  I.

CHEFS DES TRAVAUX PRATIQUES

MM. DEFACQZ,  I.	Chimie générale.
COUSIN,  I.	Chimie analytique.
GORIS,  A.	Micrographie.
MOURLOT,  A.	Physique.
BARTHELAT,  I.	Microbiologie.

Chef du Laboratoire des examens pratiques : M. VALEUR,  A.
Bibliothécaire : M. DORVEAUX,  I.

A LA MÉMOIRE

de Monsieur le Docteur BELLAMY

Professeur à l'École de Médecine et de Pharmacie de Rennes,

Souvenir affectueux et reconnaissant.

A Monsieur ÉMILE JUNGFLEISCH

Membre de l'Institut et de l'Académie de Médecine,

Professeur honoraire à l'École supérieure de Pharmacie de Paris,

Professeur au Collège de France,

Officier de la Légion d'honneur,

Hommage respectueux et témoignage de vive gratitude.

A Monsieur G. BOUCHARDAT

Membre de l'Académie de Médecine,
Professeur à l'École supérieure de Pharmacie de Paris,
Officier de la Légion d'honneur,

Hommage respectueux.

A Monsieur L. GRIMBERT

Professeur à l'École supérieure de Pharmacie de Paris,
Directeur de la Pharmacie centrale des Hôpitaux,

Hommage respectueux.

A Monsieur F. GUÉGUEN

Professeur Agrégé à l'École supérieure de Pharmacie de Paris,

Hommage amical.

INTRODUCTION

HISTORIQUE

Emploi des tuyaux de plomb pour la canalisation des eaux destinées à l'alimentation. — Inconvénients qui résultent de leur emploi dans certaines circonstances. — Empoisonnements de Clamont. — Autres cas. — Discussions à l'Académie des Sciences et à l'Académie de Médecine sur le choix d'une canalisation pour les nouvelles eaux captées par la ville de Paris (1862-1863). — Discussions provoquées par un projet de remplacement des tuyaux de plomb par des tuyaux doublés d'étain, pour la canalisation des eaux consommées dans Paris. (Conseil d'Hygiène de la Seine, octobre 1873). — Discussion par l'Académie de Médecine du rapport de M. Boudet. — Opinions formulées à l'Académie des Sciences à la suite d'un rapport de M. Bobierre. — Opinion du Conseil d'Hygiène central du département d'Ille-et-Vilaine sur l'utilisation du plomb pour la canalisation des eaux destinées à l'alimentation publique. — Expériences de M. Armand Gautier. — Empoisonnements saturnins de Sheffield. — Empoisonnements de Dessau. — Actions électrolytiques ; expériences de M. Bisserié. — Recherches provoquées par les empoisonnements saturnins survenus à Vitry en 1899-1900 ; plan adopté pour l'exposition du sujet.

Emploi des tuyaux de plomb pour la canalisation des eaux destinées à l'alimentation.

L'usage des tuyaux de plomb pour la canalisation des eaux potables est très ancien et très répandu : il existe à Rome une importante canalisation vieille de deux mille ans. On sait, d'autre part, que dans la plupart des villes ce métal est utilisé pour la conduite des eaux dans les habitations.

Inconvénients qui résultent de leur emploi dans certaines circonstances.

On a signalé cependant, à différentes reprises, des empoisonnements causés par des eaux qui avaient été en contact prolongé

avec ce métal. Vitruve (1), architecte qui vivait sous le règne d'Auguste, déclare fort nettement que les tuyaux de plomb peuvent devenir dangereux pour la santé publique en abandonnant à l'eau de la céruse. Depuis cette époque on a constaté à différentes reprises l'action nocive de certaines eaux chargées de plomb; mais c'est surtout dans le courant du siècle dernier que les hygiénistes se sont préoccupés des meilleurs procédés à utiliser pour la canalisation des eaux destinées à l'alimentation.

Empoisonnements de Claremont.

On a étudié plus scientifiquement les causes des accidents saturnins signalés et on peut citer à cet égard la relation que Guéneau de Mussy (2) a publiée sur les empoisonnements dont la famille d'Orléans a été victime en 1849 pendant son séjour au château de Claremont. Ils furent causés par une eau peu minéralisée contenant 0 gr. 0798 de sels par litre, canalisée par un tuyau de plomb de 300 mètres de long. Hoffmann trouva 14 milligrammes de plomb par litre d'eau, treize personnes sur trente-neuf manifestèrent les symptômes de l'empoisonnement saturnin aigu.

Autres cas.

On pourrait citer un certain nombre de cas antérieurs mais ils n'ont point fait l'objet d'études sérieuses et ont été, du reste, presque toujours attribués à des causes exceptionnelles ou accidentelles indéterminées.

Discussions à l'Académie des Sciences et à l'Académie de Médecine sur le choix d'une canalisation pour les nouvelles eaux captées par la ville de Paris (1862-1863).

C'est pourquoi il ne faut pas s'étonner de ce que les longues discussions qui ont été soulevées à plusieurs reprises n'aient point abouti à des conclusions formelles et définitives; les faits isolés cités par les adversaires des tuyaux de plomb ne pouvaient modifier l'opinion des ingénieurs qui utilisent généralement ce métal sans inconvénients apparents.

1. VITRUVÉ : *Traité d'Agriculture*, livre VIII, chapitre VII.

2. H. GUÉNEAU DE MUSSY : *Historique de plusieurs cas d'empoisonnement qui ont eu lieu à Claremont par le plomb*. (Dublin, *Quarterly Journal of medical Sciences*, mai 1849, et dans les *Annales d'Hygiène*, 1853, deuxième série, t. IV, p. 318).

En 1862-1863, on se préoccupa de savoir quel métal on devait employer pour la canalisation des eaux nouvellement captées pour la ville de Paris. La question fut posée à l'Académie des Sciences (1) et à l'Académie de Médecine (2); les tuyaux de plomb furent énergiquement défendus par Balard, Dumas et Leblanc, mais surtout par l'ingénieur Belgrand malgré les observations motivées de Robiquet, Christison, Smith, Petenkoffer, Poggiale et Fordos. Il fut admis par ces Assemblées que l'eau de la Seine et les eaux qu'on se proposait d'amener à Paris étaient sans action sur le plomb; quoique Fordos ait cité à l'appui de son opinion des analyses qu'il avait faites à l'hôpital de la Charité, et au cours desquelles il avait constaté la présence de plomb (à doses assez minimes il est vrai) dans l'eau qui avait séjourné un certain temps dans les tuyaux (3).

Discussions provoquées par un projet de remplacement des tuyaux de plomb par des tuyaux doublés d'étain, pour la canalisation des eaux consommées dans Paris. (Conseil d'Hygiène de la Seine, octobre 1873).

La question fut de nouveau posée en 1873 au Conseil d'Hygiène et de Salubrité de la Seine: il s'agissait de répondre à une pétition qui proposait de substituer aux tuyaux de plomb des tuyaux doublés d'étain (4). M. Boudet, rapporteur, se livra, avant de conclure, à de nombreuses expériences. Il signala l'action très rapide de l'eau distillée aérée sur une lame de plomb à l'air libre, mais constata que les eaux consommées à Paris à cette époque (Seine, Dhuys, Ourcq, Vanne, Arcueil, puits de Passy, de Grenelle et de Belleville), étaient sans action sur le plomb dans les mêmes conditions. Il remarqua cependant que l'eau de Seine, tenant en suspension de l'hydro-carbonate de plomb et soumise à l'action d'un courant d'acide carbonique, mettait en dissolution une quantité de plomb appréciable et détermina également à

1. *Bulletin de l'Académie de Médecine* (1862-1863). A. GAUTIER : *Le Cuivre et le Plomb*, p. 159.

2. *Compte rendus de l'Académie des Sciences* (1862-1863). A. GAUTIER : *Le Cuivre et le Plomb*, p. 159.

3. FORDOS : *Bulletin de la Société chimique*, t. XX, p. 482; t. XXI, p. 439. (Voir également les dosages rigoureux de M. Armand Gautier, rapportés plus loin).

4. BOUDET : *Rapport au Conseil d'Hygiène de la Seine*, octobre 1873. A. GAUTIER : *Le Cuivre et le Plomb*, p. 160 et suivantes.

l'air libre l'action de quelques solutions salines sur des lames de plomb :

L'eau de pluie chargée de 0 gr. 08 de chaux est sans action sur le plomb, mais si à l'aide d'un courant d'acide carbonique on fait passer la chaux à l'état de bicarbonate il se forme au repos dans le vase un dépôt qui contient des traces du métal toxique.

Les sulfates de soude, de chaux, de magnésie, dissous dans l'eau aérée à la dose de 40 centigrammes par litre paralysent l'action de l'eau sur le plomb; cependant il constate un léger dépôt plombique sur les parois du vase.

Le plomb n'est pas attaqué par l'eau pure légèrement additionnée de carbonate de soude, ni par l'eau contenant en dissolution 0 gr. 50 de chlorure de sodium; toutefois il se forme au fond du vase un dépôt qui contient des traces de ce métal. Le chlorhydrate d'ammoniaque jouit de propriétés analogues; l'azotate d'ammoniaque au contraire favorise l'attaque du plomb par l'eau de Seine ou de Dhuy.

La gomme, l'albumine, le sucre, l'infusion de foin, dans l'eau pure, semblent exercer une action protectrice sans s'opposer complètement à l'attaque du métal. L'eau de Seine et l'eau pure mélangées dans la proportion de une partie de la première pour six de la seconde sont sans action sur le plomb. Une eau de source marquant 16° hydrotimétriques a donné les mêmes résultats.

M. Boudet, tout en constatant que les eaux de Paris n'exerçaient aucune action sensible sur le plomb dans les circonstances de ses expériences, formulait cependant, au sujet de la possibilité de cette action dans certains cas particuliers, les réserves suivantes :

Comme les causes et les conditions de cette propriété singulière ne sont pas suffisamment connues, comme elles peuvent être modifiées par des circonstances accidentelles et imprévues, il me paraît téméraire d'affirmer que les tuyaux des conduites et les branchements en plomb doivent inspirer une sécurité absolue.

Discussion par l'Académie de Médecine du rapport de M. Boudet.

Le rapport de M. Boudet fut discuté à l'Académie de Médecine (1) et particulièrement ses conclusions, qui furent sujettes à quelques observations.

Voici ses conclusions :

1° L'emploi des réservoirs, conduits et tuyaux en plomb pour le transport ou pour la conservation des eaux pures, telles que les eaux pluviales recueillies directement dans les citernes ou pour toutes autres eaux analogues, est dangereux et doit être interdit quand ces eaux sont destinées à l'alimentation ;

2° La composition des eaux de Paris est telle qu'elles n'attaquent pas le plomb et qu'il n'y a pas lieu de se préoccuper des dangers que peut offrir l'usage de ce métal ;

1. *Bulletin de l'Académie de Médecine* (1873).

3° Il y a lieu cependant de recommander expressément aux concessionnaires, en cas d'interruption plus ou moins prolongée de leur service d'eau, de laisser écouler pendant quelque temps sans les recueillir les premières *eaux en contact avec les robinets*, dans les conduites de plomb même doublées d'étain ;

4° La canalisation des eaux en fonte ou en fer et en plomb doublé d'étain est à l'abri de tout soupçon, le fer et l'étain ne pouvant altérer la salubrité des eaux ;

5° Les concessionnaires des eaux de la ville doivent être libres de choisir tel métal qui leur conviendra.

Après la lecture de ces conclusions, Boutron insista plus particulièrement sur l'action des eaux de pluie ; Lefort sur l'action des nitrates et des sels ammoniacaux, même lorsqu'ils sont dissous *dans des eaux très calcaires*. Gobley indiqua la filtration comme un bon moyen d'éliminer les particules plombiques en suspension dans l'eau. Poggiale déclara que toutes les eaux réagissent sur le plomb mais que certaines sont inoffensives parce qu'elles peuvent fixer les composés plombiques dans un enduit insoluble. Plusieurs membres de l'Académie citèrent l'exemple d'eaux relativement peu minéralisées et qui avaient été canalisées sans inconvénients *apparents* par des tuyaux de plomb.

Opinions formulées à l'Académie des Sciences à la suite d'un rapport de M. Bobierre.

L'Académie des Sciences (1) fut à la même époque saisie de la question par une communication de M. Bobierre, qui signala que les eaux calcaires, sans action sur les tuyaux pleins, attaquent les tuyaux non remplis. Au cours de la discussion, Belgrand déclara que les eaux de la ville de Londres, qui contiennent environ 17 parties de chaux pour 100.000 parties d'eau sont sans action sur le plomb, et qu'en Angleterre on admettait qu'il en était ainsi pour toutes les eaux qui contiennent au moins 5 parties de chaux pour 100.000 parties d'eau, c'est-à-dire *au moins 0 gr. 05 par litre*. Balard, à ce propos, signala l'action protectrice des sulfate et bicarbonate de chaux, des sulfate borate et bicarbonate de soude et l'action active des nitrates, chlorures acétates et formiates ; il expliqua que la protection des tuyaux était obtenue par la formation d'un enduit insoluble et adhérent.

1. *Compte rendus de l'Académie des Sciences* ; t. XXVII, p. 1272.

Ces discussions n'aboutirent pas à la suppression des tuyaux de plomb dans les habitations; on substitua des tuyaux de fonte coaltarisés aux tuyaux de plomb dans les grosses canalisations de la ville de Paris, mais on conserva les branchements particuliers. A cette époque, 1.500 kilomètres de ces tuyaux desservaient 38.000 concessionnaires (1).

Opinion du Conseil d'Hygiène central du département d'Ille-et-Vilaine sur l'utilisation du plomb pour la canalisation des eaux destinées à l'alimentation publique.

On pourrait dire au contraire que depuis cette époque l'emploi des canalisations en plomb s'est généralisé, sans qu'on ait tenu compte des réserves nettement formulées par l'unanimité des chimistes à l'égard des eaux peu minéralisées. Dans la région bretonne où le sol est argilo-schisteux, les eaux généralement consommées contiennent peu de chaux, on a cependant employé les tuyaux de plomb pour la canalisation des eaux potables malgré l'opinion formellement opposée et nettement exprimée par les conseils d'hygiène.

Les compte rendus du Conseil départemental d'Hygiène du département d'Ille-et-Vilaine en fournissent la preuve éclatante.

Dans la séance du 18 avril 1872 (2), les docteurs Delacour, Régnault, Aubrée et Perret, professeurs à l'École de Médecine de Rennes, font remarquer que « *des doses infinitésimales de plomb introduites chaque jour dans l'économie peuvent produire de graves accidents* ». Le Conseil d'Hygiène, se rangeant à leur avis, demanda la suppression des tuyaux de plomb pour le soutirage du cidre et de la bière et attira l'attention de M. le Préfet sur les poteries vernies avec l'aide des sels de plomb *et sur les tuyaux de plomb utilisés pour le prélèvement de l'eau dans les puits*.

Ces vœux du Conseil d'Hygiène d'Ille-et-Vilaine, justifiés par de nombreuses observations, furent mal accueillis par les bureaux et comités centraux d'hygiène. Le 14 septembre 1876, le ministre de l'Agriculture et du Commerce, sollicité d'intervenir

1. Armand GAUTIER : *Le Cuivre et le Plomb dans l'Alimentation et l'Industrie au point de vue de l'Hygiène*, Paris, J.-B. Baillière et Fils, 1883, p. 167.

2. *Compte rendus du Comité central d'Hygiène et de Salubrité du département d'Ille-et-Vilaine de 1868 à 1872*, p. 59.

par la suppression des tuyaux de plomb pour la canalisation des eaux, répondait :

« Ces tuyaux servent pour les conduits d'eau depuis les temps les plus reculés, sans qu'il soit résulté d'inconvénients sérieux au point de vue hygiénique. »

Cette affirmation m'étonne profondément, dit le docteur Régnauld, lorsque je viens tout près de Rennes d'être le témoin d'un épouvantable empoisonnement en masse dû au passage de l'eau dans un tuyau de plomb. Quarante-deux personnes ont été atteintes de la manière la plus grave dans l'hôpital de Vitré, plusieurs ont failli perdre la vie et restent paralysées d'une façon définitive.

Quelle en est la cause :

La canalisation d'une eau très pure conduite pendant une quarantaine de mètres dans un tuyau de plomb.

Quelles sont les précautions qu'indique la science ?

Le Comité consultatif d'Hygiène de France n'en indique qu'une seule : la filtration qui suffit, dit-il, pour écarter tout danger.

Cette affirmation que l'eau filtrée ne contient pas de plomb semble indiquer que ce métal se trouve dans le liquide à l'état insoluble sous forme de carbonate, mais on y trouve aussi des chlorures que le filtre n'enlève point.

« Les tuyaux de plomb attaqués par l'eau aérée, dit le Comité central d'Hygiène de France, se recouvrent à l'intérieur d'une couche qui renferme du carbonate de chaux et du carbonate de plomb, le métal n'est plus en contact direct avec l'eau et peut servir longtemps à conduire les eaux sans aucun danger pour la santé publique. »

Eh quoi ! continue le rapporteur, ce que l'on craint précisément c'est que l'eau n'entraîne un peu de plomb sous forme de carbonate ou de tout autre sel et, parce qu'elle coulerait sur une couche de carbonate de plomb toute formée, il n'y aurait plus de danger !

Comment le croire ? Cette couche formée est essentiellement toxique et constitue un danger permanent. Elle ne forme pas une couche continue et compacte, elle est en grande partie à l'état de poussière fine, mobile, facile à entraîner.

Quelques gouttes d'eau, une friction légère avec le doigt suffisent pour la transformer en une sorte de boue blanchâtre, qui est du poison plombique à l'état de concentration.

Dans ce fait, triste et instructif de Vitré, cette disposition a été parfaitement constatée. Tous ceux qui ont visité les tuyaux incriminés y ont trouvé en effet à l'intérieur un dépôt mobile et voyageur.

Le Conseil d'Hygiène de Rennes, où siégeaient la plupart des professeurs de l'Ecole de Médecine et de Pharmacie, maintint ses énergiques préventions contre les tuyaux de plomb.

En 1882, sur la proposition du docteur Delacour, le Comité central d'Ille-et-Vilaine émit le vœu suivant et pria M. le Préfet de le transmettre à l'administration municipale de Rennes. Il demandait :

« Que des expériences précises soient faites dans le but d'établir

que les tuyaux de plomb fournis par la Compagnie des Eaux ne sont pas susceptibles de donner à l'eau des composés toxiques (1). »

A toutes ces observations, appuyées sur des faits, on opposa une phrase du rapport de Belgrand (2), consulté en 1873 et rédacteur d'un avant-projet de captation des sous-affluents de la Minette et de la Loysance pour l'alimentation de la ville de Rennes. Cet ingénieur éminent, s'appuyant sur des expériences effectuées par M. Bonnet dans le Morvan, déclarait, sans avoir provoqué aucune expérience avec les eaux que l'on se proposait de capter, que malgré leur pureté chimique, elles seraient sans action sur le plomb (3). Depuis 1884 on distribue de l'eau potable dans la ville de Rennes au moyen de tuyaux de plomb étamés et même de tuyaux de plomb ordinaires.

Certains médecins ont constaté des cas d'empoisonnement saturnin en dehors des professions qui font usage des composés plombiques, mais jamais on n'a mis en cause, d'une façon générale, l'eau servant à l'alimentation des habitants. A l'exemple de Rennes, on a utilisé les tuyaux de plomb dans beaucoup d'autres villes de la région.

Expériences de M. Armand Gautier.

Les ingénieurs considéraient sans doute, après les longues discussions de 1873-1874, que la question était résolue en faveur des canalisations de plomb; cependant de nombreux chimistes signalaient des faits à l'appui de l'opinion contraire. M. Armand Gautier, l'éminent professeur de la Faculté de Médecine de Paris, a publié, en 1883, un ouvrage sur *Le Cuivre et le Plomb dans l'Alimentation et dans l'Industrie au point de vue de l'Hygiène* (4), dans lequel il consacre une importante partie à définir l'action des eaux d'alimentation sur les canalisations de plomb et à déterminer les cas dans lesquels leur utilisation peut être dangereuse pour la santé publique. Après avoir résumé l'opinion

1 Bulletin du Comité central d'Hygiène du département d'Ille-et-Vilaine, 1882-1883, p. 65.

2 Rapport manuscrit de BELGRAND, 18 janvier 1874. (Archives municipales, Bibliothèque publique de la ville de Rennes).

3 BELGRAND cite l'exemple de Glasgow, Cherbourg, Grenoble et Avallon, mais ne s'appuie pour apprécier la composition des eaux que sur la détermination du degré hydrotimétrique.

4 Paris, J.-B. Baillière et Fils; ouvrage à consulter, p. 150 à 172.

de ceux qui se sont avant lui occupés de la question et rapporté un grand nombre de faits intéressants, Armand Gautier rend compte des expériences qu'il a effectuées dans son laboratoire, dans les conditions où l'eau se trouve ordinairement en contact avec les parois des tuyaux. Voici ses résultats :

1^o Séjour de l'eau dans des tuyaux de plomb neufs :

NATURE DE L'EAU	DURÉE DU CONTACT	PAR LITRE
Eau de Seine. . . .	10 jours :	0 gr. 00013 plomb métal
Eau de Seine. . . .	»	0 gr. 00011 » »
Eau de la Dhuys . .	10 heures :	0 gr. 00010 » »

Il conclut, après avoir résumé les faits connus, que :

« Par un séjour de quelques jours ou de quelques heures dans les tuyaux de plomb neufs, l'eau dissout plus ou moins rapidement (et à ce qu'il paraît d'autant plus vite qu'elle est plus pure) environ un déci-milligramme de plomb par litre. »

2^o Séjour de l'eau potable au contact des tuyaux de plomb vieux :

Eau de la Vanne . . . 10 jours de séjour : 0 gr. 000379 par litre

De ses résultats et des faits rapportés par lui, M. Armand Gautier déduit :

1^o Que les diverses eaux potables empruntent aux tuyaux de plomb dans lesquels elles séjournent, même s'ils sont incrustés de sels calcaires, une quantité de métal toxique en général minime ;

2^o Que cette quantité varie avec la nature des eaux ; qu'elle augmente avec les eaux de plus en plus pures, et avec l'aération du liquide ; qu'elle peut devenir surtout dangereuse avec les eaux de pluie et l'eau distillée ;

3^o Qu'il est donc imprudent de boire de ces eaux lorsqu'elles ont séjourné quelque temps dans des tuyaux neufs ou vieux, particulièrement en présence de l'air.

Empoisonnements saturnins de Sheffield.

A l'appui de ces conclusions, je puis citer des faits plus récents et qui sont particulièrement intéressants parce qu'ils se sont produits dans deux grandes villes.

En 1885-1886, des empoisonnements saturnins furent constatés

à Sheffield, l'eau distribuée aux habitants fut mise en cause et le chimiste anglais Allen trouva, dans l'eau susceptible d'être consommée, 7 à 14 milligrammes de plomb-métal par litre (1).

L'eau était peu minéralisée et provenait d'une région tourbeuse; on supposa qu'elle contenait des acides organiques susceptibles d'attaquer le plomb.

Pour remédier à l'attaque des tuyaux en neutralisant ces acides, on ajouta à l'eau une certaine quantité de chaux.

Empoisonnements de Dessau.

A Dessau, en 1889 (2), on constata les mêmes inconvénients. MM. Karl Meyer et Max Muller trouvèrent dans l'eau des doses de plomb voisines de 14 milligrammes et attribuèrent l'attaque des tuyaux à l'extrême pureté de l'eau et à son aération. On ajouta de la chaux en proportions déterminées et un appareil, imaginé à cet effet, en devait débiter chaque jour près de 100 kilogrammes.

Actions électrolytiques; expériences de M. Bissérié.

Pour expliquer la présence de petites quantités de plomb dans des eaux qui ont été pendant un certain temps en contact avec les robinets, M. Bissérié (3) a envisagé la possibilité d'une électrolyse des éléments de l'eau; (Bouchardat (4) et Pouchet (5) ont montré que ces actions se produisent toujours lorsque deux métaux sont mouillés par une même solution saline); ses expériences ont eu pour but de constater qu'elle pouvait en être la

1 ALLEN (A.-H.) : *The Sheffield water supply and lead poisoning* (Sanitary Record London, 1888, n. s. IX, 356).

2 MULLER (Max) : *Ueber die ursachen des zerstorenden augriffs verschiedener wasser auf Bleiröhren* H. prakt chem Leips, 1887. — *Moniteur scientifique*; Paris, 1888, p. 129-139.

WOLFFHUGEL : *Wasserversorgung und Bleivergiftung gutachten uber die zu Dessau im Jahre, 1886. Vorgekommenen vergiftungsfälle* (Arb. a. d. k. Gondhtsamte, Berlin, 1887, t. II, p. 484-542).

RICHTER : *Die Bleierkrankungen durch Leitungswasser in Dessau im Jahre, 1886. Deutsche Vrtljsch f. off. Gsndhts pflg.* Bruschw; 1887, t. XIX, p. 255-475.

3 *Revue de l'Intendance*, 1900. — *Bulletin des Sciences pharmacologiques*; Paris, 1900, t. II, p. 271-281.

4 BOUCHARDAT (A.) : *Thèse, École Supérieure de Pharmacie*; Paris, 1833.

5 POUCHET (G.) : *Rapport sur les dangers présentés par les conduites mixtes de fer et de plomb dans la canalisation des eaux potables. Recueil des Travaux du Comité consultatif d'Hygiène de France*, t. XVI, p. 289 (10 mai 1886).

conséquence et de voir si sous cette influence, la solution saline ne se chargeait pas de composés plombiques.

Il a opéré à l'air libre avec des lames de plomb et de cuivre et en présence de solutions plus chargées de sels que ne le sont en général les eaux naturelles destinées à l'alimentation.

Il a constaté, dans les conditions de son expérimentation, que le plomb était attaqué par les solutions d'azotates alcalins, même en présence des bicarbonates; il a constaté également l'action des chlorures. Pour expliquer la réaction qui se produit, il envisage l'électrolyse du chlorure et l'action du métal en liberté. La réaction doit être plus complexe; M. Becquerel a obtenu par électrolyse des chlorures doubles de plomb et de sodium cristallisés (1). M. Bisserié conclut de ses expériences que le contact des robinets de cuivre et des tuyaux de plomb peut causer la dissolution du plomb.

M. Malmejac (2), pharmacien militaire, a publié l'année suivante les résultats qu'il avait obtenus en mettant l'eau de Sétif (Algérie) en contact avec du cuivre et du plomb, dans les mêmes conditions que M. Bisserié. Ces eaux, qui contiennent des chlorures et des sulfates de sodium et de magnésium, exerçaient une action sur la lame de plomb.

D'autres actions électriques peuvent s'exercer sur les canalisations. En 1902 on a constaté à Paris, rue Saint-Denis, des ruptures de conduites qui avaient été occasionnées par le contact de deux canalisations de températures très différentes, l'une distribuant l'eau d'alimentation et l'autre le gaz. Il se produisit une action thermo électrique.

Il conviendrait également d'envisager, dans certaines villes, l'action des courants de retour quand il existe d'importantes usines de distribution de force ou d'éclairage électrique; on n'a cependant signalé jusqu'à ce jour aucun accident imputable à cette cause.

Recherches provoquées par les empoisonnements saturnins survenus à Vitré en 1900; plan adopté pour l'exposition du sujet.

Les faits que je viens d'exposer étaient à ma connaissance

1 *Compte rendus de l'Académie des Sciences*, t. XX, p. 1509.

2 *Journal de Pharmacie et de Chimie*; Paris, série 6, 13-1901, p. 169-171.

lorsque je recherchai les conditions dans lesquelles, en 1899 et en 1900 (1), un certain nombre d'habitants de Vitré avaient été intoxiqués par l'usage d'une eau qui contenait des doses relativement fortes de plomb. Ils permettaient d'expliquer facilement l'attaque du plomb par l'eau très pure distribuée aux habitants de Vitré; ils permettaient même de suspecter, à bon droit, toutes les eaux consommées en Bretagne, qui ont une composition analogue et qui contiennent moins de 2 centigrammes de carbonate de chaux par litre. Des discussions fort longues m'obligèrent cependant à préciser les conditions dans lesquelles s'était produit l'attaque du plomb et à démontrer que de nombreuses eaux réagissent comme l'eau de Vitré. Les recherches entreprises dans ce but sont exposées dans les quatre chapitres qui suivent cette Introduction.

Dans le premier, j'indique quels sont les procédés d'analyse que j'ai employés; je décris un procédé très sensible pour rechercher la présence de très petites quantités de plomb et les méthodes que j'ai choisies pour déterminer la composition chimique des différentes eaux que j'ai étudiées; j'expose ensuite quelles sont les méthodes qui m'ont permis de déterminer leurs caractéristiques bactériologiques. Je décris plus longuement un procédé spécial qui permettrait de cultiver le bacille coli dans les eaux, très diluées.

Dans le deuxième chapitre, après avoir étudié l'action de l'eau de Vitré sur le plomb, je détermine, à l'aide de solutions rigoureusement dosées, l'action séparée et combinée de chacun des éléments qui la composent.

Dans le troisième chapitre, afin de généraliser les conclusions que j'ai déduites de mes expériences, j'étudie un certain nombre d'eaux de la région bretonne comparativement avec l'eau de Vitré, tant au point de vue de leur composition chimique et de leurs caractéristiques bactériologiques que de leurs propriétés dissolvantes vis-à-vis du plomb.

Enfin, dans le quatrième chapitre, je passe successivement en revue les divers moyens proposés pour éviter l'entraînement

1 FERRIER (O.) : *Les empoisonnements saturnins de Vitré (Ille-et-Vilaine)* : *Journal de Pharmacie et de Chimie*; Paris, série 6, 13-1901, p. 407-412. — *Étude chimique sur l'eau de Vitré* : Vitré, H. Gaudichon, 1900, 16 pages.

de composés plombiques par des eaux d'alimentation. Après avoir indiqué comment la question a été mal résolue à Vitré, je propose un procédé facile et peu coûteux pour remédier aux divers inconvénients que j'ai signalés. Je montre, qu'en effet, il est très facile d'ajouter aux eaux d'alimentation une quantité de chaux déterminée, que ce procédé est non seulement efficace pour l'objet qu'on se propose, mais qu'il permet encore de précipiter la majeure partie des germes et des matières organiques que l'eau contient, et d'introduire dans l'alimentation une certaine quantité de chaux qui peut être utilisée pour la formation et l'entretien du squelette.

Dans mes Conclusions, je propose de généraliser ce procédé et de l'appliquer à toutes les eaux qui contiennent moins de 3 centigrammes de chaux par litre.

CHAPITRE PREMIER

MÉTHODES ANALYTIQUES

- I. — RECHERCHE ET DOSAGE DES MÉTAUX DANS LES ALIMENTS, DANS LES EAUX NATURELLES ET DANS LES SÉCRÉTIONS ORGANIQUES :** Destruction de la matière organique. — **Recherches qualitatives :** Séparation du plomb. — Electrolyse. — **Dosage du plomb :** Méthode dite des sulfures transformés en sulfates. — Méthode électrolytique. — Méthode colorimétrique. — Recherche des traces infinitésimales. — Recherche et dosage du cuivre. — Recherche et dosage du fer.
- II. — ANALYSE CHIMIQUE DES EAUX NATURELLES :** Détermination du volume des gaz dissous dans l'eau. — Dosage de l'oxygène en poids. — Dosage de l'acide carbonique libre et demi-combiné. — **Recherche et dosage des sels dissous dans l'eau :** Recherche et dosage de l'ammoniaque. — Dosage de l'azote albuminoïde. — Recherche et dosage des nitrites. — Recherche et dosage des nitrates. — Recherche des acides gras. — Détermination de l'extrait sec à 100-110°. — Dosage des sels anhydres. — Dosage de la silice. — Dosage du fer et de l'alumine. — Dosage de la chaux. — Dosage de la magnésie. — Dosage des alcalis. — Dosage du chlore. — Dosage de l'acide sulfurique. — Interprétation des résultats.
- III. — MÉTHODES BACTÉRIOLOGIQUES :** Prélèvement. — Numération des bactéries. — Recherches qualitatives. — Recherche du *Bacterium coli commune* Escherich.

- I. — Recherche et dosage des métaux dans les aliments, dans les eaux naturelles et dans les sécrétions organiques.**

Le plomb se combine avec la matière organique pour former des composés non dissociables à froid par les acides.

La viande, le pain, les farines, les légumes, le vin, le cidre, le lait, l'urine, et dans certains cas les eaux destinées à l'alimentation, le contiennent sous cette forme à dose toxique.

Pour caractériser ce métal et pour le doser, il est nécessaire de détruire le composé organo-métallique et d'engager le plomb

dans une combinaison minérale appropriée. Pour cela on procède à la destruction de la matière organique.

Destruction de la matière organique.

Pour opérer cette destruction je mets, dans une capsule de porcelaine de dimension convenable, la matière solide préalablement divisée, ou l'extrait sec du produit liquide, en contact avec le tiers de son poids d'acide sulfurique absolument pur. Je chauffe lentement la capsule en agitant avec une baguette de verre et en prenant des précautions pour éviter la perte du produit, je continue jusqu'à cessation de tout dégagement de vapeur et obtention d'un charbon sec et friable. Quand ce résidu est trop volumineux, j'opère sa destruction en l'arrosant d'une solution concentrée et pure d'azotate d'ammoniaque; je porte lentement la masse au rouge sombre en évitant les déflagrations et les projections de matière hors de la capsule ou du creuset; j'ajoute ensuite une petite quantité d'acide sulfurique et je maintiens au rouge jusqu'à cessation de tout dégagement de vapeur. Le résidu contenant le plomb à l'état de sulfate est traité par l'eau distillée contenant 1 % d'acétate d'ammoniaque qui retient le sulfate de plomb en dissolution.

Recherches qualitatives.

La solution obtenue par lixiviation du charbon sulfurique peut contenir d'autres métaux que le plomb, elle peut aussi contenir celui-ci à doses infinitésimales.

Séparation du plomb.

En traitant la liqueur acide par l'hydrogène sulfuré on précipite, s'il y a lieu : étain, antimoine, arsenic, or, platine, cuivre, cadmium, plomb, bismuth, mercure (au maximum).

Ce traitement sépare le plomb du fer et du manganèse, mais conserve le cuivre et l'étain, que l'on rencontre souvent avec le plomb dans les eaux d'alimentation ou dans les aliments en contact avec les étamages.

Le sulfure d'étain étant soluble dans le sulfhydrate d'ammoniaque peut être séparé du sulfure de plomb et du sulfure de

cuivre par filtration; le cuivre peut également être séparé après transformation des sulfures en sulfates par un traitement à l'alcool ammoniacal (1); le cuivre est dissous, le plomb reste sous forme de sulfate soluble dans l'eau distillée quand il est en petites quantités, soluble dans tous les cas dans une solution d'acétate d'ammoniaque.

Quand on a obtenu une solution de sulfate de plomb, on peut caractériser le plomb par les réactions suivantes :

1° En présence d'une solution d'iodure de potassium le sulfate de plomb donne un précipité jaune d'iodure de plomb;

2° Dans les mêmes conditions le chromate de potasse donne un précipité d'un jaune plus clair de chromate de plomb soluble dans la potasse;

3° La potasse précipite l'oxyde de plomb, mais ajoutée en excès le redissout immédiatement

Pour constater ces réactions on est souvent obligé d'avoir recours au microscope. Elles sont plus nettes et peuvent se produire avec des doses infinitésimales; on peut aisément diviser une goutte d'eau de 5 centigrammes contenant 0 milligr. 05 de plomb en 60 gouttelettes, contenant 0 milligr. 0008, avec chacune desquelles on peut opérer l'une ou l'autre des réactions indiquées précédemment, c'est-à-dire obtenir : du sulfure, du chromate, de l'iodure ou du sulfate de plomb caractéristiques.

Lorsque le degré de concentration de la solution ne permet pas la production d'un précipité, il suffit d'attendre quelques instants l'évaporation de la gouttelette. On doit examiner les précipités comparativement avec d'autres obtenus dans des conditions parfaites afin de les identifier, l'examen microscopique permet de remarquer des détails intéressants; la forme des particules précipitées est presque toujours caractéristique. Après l'examen on lave la lame de verre porte-objet, on réunit les liquides du lavage que l'on transforme en sulfure pour le dosage.

Électrolyse.

L'électrolyse permet de séparer le plomb des métaux autres que le manganèse, qui se dépose avec lui sous forme d'oxyde au

1 Alcool à 60° et solution officinale d'ammoniaque P. E.

pôle positif; le fer, le cuivre, l'étain, etc., se déposent au pôle négatif ou restent en dissolution dans la liqueur très acide.

Si l'on électrolyse directement le produit de l'évaporation d'une eau quelconque on peut craindre la présence de quelques traces de manganèse, car depuis quelque temps on se sert fréquemment du permanganate de potasse pour l'épuration des eaux. Si au contraire on électrolyse la solution du sulfate provenant de la transformation du sulfure on n'a rien à craindre, le manganèse ne précipitant pas par l'hydrogène sulfuré.

Le plomb recueilli sur l'électrode positive est à l'état de bioxyde, traité par l'acide sulfurique il se dissout dans l'eau distillée chargée d'acétate d'ammoniaque et peut être facilement caractérisé.

Dosage du plomb.

Pour l'opérer j'ai utilisé deux méthodes par pesée et une méthode colorimétrique.

Les deux premières permettent d'apprécier des doses supérieures à un milligramme à un dixième de milligramme près. La méthode colorimétrique m'a permis d'apprécier et de comparer l'intensité de certaines actions qui se traduisent par des doses de plomb inférieures au 20^e de milligramme.

Méthode dite des sulfures transformés en sulfates.

Après avoir détruit la combinaison organo-métallique et recueilli une solution de sulfate de plomb dans l'eau distillée chargée d'acétate d'ammoniaque, je fais passer un courant d'hydrogène sulfuré, pour transformer le plomb en sulfure; le sulfure déposé est lavé à l'eau alcoolisée, recueilli sur un filtre donnant un poids de cendres connu et incinéré dans un creuset de platine en présence d'un mélange d'acide azotique et d'acide sulfurique. Le creuset étant pesé avant et après l'opération, j'en déduis le poids du sulfate et en multipliant par 0.6832 celui du plomb.

Méthode électrolytique.

Dans d'autres cas j'opère l'électrolyse soit de la solution initiale soit de la solution du sulfate dans l'eau distillée, en ayant soin d'opérer la concentration à 10 centimètres cubes et d'acidifier

par l'acide azotique. Je place la solution dans un creuset de platine contenant environ 12 centimètres cubes reposant sur une lame de cuivre reliée avec le pôle négatif d'un couple Leclanché; je plonge dans la liqueur une spirale de platine obtenue en enroulant un fil de platine sur un petit cylindre de bois mise en communication avec le pôle positif de la pile. Je fais passer le courant pendant 6 heures puis sans l'interrompre je prélève avec une pipette le liquide contenu dans le creuset en lui substituant un grand nombre de fois de l'eau distillée absolument pure. Je sèche l'électrode à l'étuve à 110° et j'effectue une pesée. L'électrode ayant été pesée avant l'opération, la différence donne le poids du plomb en bioxyde; en multipliant par 0.8661 j'obtiens le poids du métal.

Méthode colorimétrique.

Lorsque les pesées du creuset ou de l'électrode ne me donnent pas des différences appréciables par la balance, je dissous le sulfate ou le bioxyde transformé en sulfate dans une certaine quantité d'eau distillée : 2, 5, 10, 25 et 50 centimètres cubes, de façon à obtenir des dilutions inférieures au 100000°. Ces solutions contenant *moins de un centigramme* de plomb par litre, traitées par l'hydrogène sulfuré conservent pendant plusieurs heures une coloration dont l'intensité est proportionnelle à la dose de plomb qu'elles contiennent, au-delà de cette dose le plomb se précipite rapidement et la coloration du liquide ne correspond plus à la dose de plomb qu'il renferme. Les solutions contenant un milligramme de plomb par litre ont, sous le volume de 2 centimètres cubes dans les conditions que je vais indiquer, une coloration très sensible qui permet de les différencier de celles qui renferment 0 gr. 002 et 0 gr. 0005 de plomb par litre, à la condition toutefois que ces solutions ne renferment aucun autre métal que le plomb et que celui-ci, sous une forme soluble, soit réparti uniformément dans la masse.

Voici comment j'opère :

Je renferme le liquide (concentré de façon à contenir moins de 1.100000° de plomb) dans des éprouvettes contenant un peu plus de 2, 5, 10, 25 et 50 centimètres cubes, de mêmes dimensions et à fond plat. Ces éprouvettes reposent sur une planchette en bois peinte au blanc de zinc et sont engagées à

hauteur de la division qui limite leur contenance dans une autre planchette en bois peinte au blanc de zinc et percée de trous. Ces planchettes sont réunies par deux supports aux deux extrémités. Chaque ouverture de la planchette supérieure est numérotée de 1 à 20 et d'espace en espace, aux divisions 4, 8, 12, 16 et 20, sont placées des éprouvettes contenant des solutions titrées à : 0 gr. 002, 0.004, 0.006, 0.008, 0.01 de plomb par litre.

Les solutions à analyser et les solutions témoins sont traitées en même temps par une goutte d'une solution récente et absolument limpide de sulfhydrate d'ammoniaque et agitées en renversant le tube un même nombre de fois. J'examine par en-haut, suivant l'axe vertical des tubes, les colorations qui se développent sur fond blanc, je les classe par ordre d'intensité dans les intervalles des solutions témoins. En lisant le chiffre correspondant je connais, avec une approximation suffisante, leur teneur en plomb. Avec des tubes de deux centimètres cubes je peux apprécier des doses de plomb inférieures à 0 gr. 00001 à 0 gr. 000001 près.

Je peux, par cette méthode, reconnaître directement l'action de certains liquides sur le plomb; dans des expériences j'ai mis en présence du plomb des solutions dont la composition était rigoureusement déterminée, il m'a suffi d'évaporer au 1/50° ou au 1/200° pour déceler des traces infinitésimales de plomb, et pour ranger ces actions par ordre d'intensité. J'opère en même temps sur un grand nombre de solutions plombiques pour avoir des résultats comparables.

Recherche des traces infinitésimales.

Avec le microscope on peut apprécier l'action du sulfhydrate d'ammoniaque sur des doses infinitésimales de plomb, et dans une goutte d'eau de 0 gr. 05 constater la présence de 0 milligr. 0000025 de plomb à l'état de sulfure (oc. comp. n° 6, obj. n° 5 Stiasnie).

De ces observations j'ai déduit que le sulfure de plomb est absolument insoluble dans l'eau et que la perte par lavage de ce précipité est insignifiante quand il est effectué avec de l'eau distillée bouillie ou du sulfhydrate d'ammoniaque et dans un temps très court. Si on laisse le précipité humide à l'air libre il

s'oxyde et se transforme en *sulfite* ou en *sulfate* relativement solubles.

Recherche et dosage du cuivre.

Le cuivre précipite par l'hydrogène sulfuré comme le plomb, mais le sulfure s'oxyde très rapidement et donne une coloration beaucoup moins intense : trois fois moins environ. (J'ai constaté que 0 gr. 02 de cuivre donnent une coloration égale à celle de 0 gr. 006). Cette coloration reste stable à l'abri de l'air pendant assez longtemps avec des doses de cuivre inférieures ou égales à 5 centigrammes par litre.

J'ai eu l'occasion de doser dans du pain le cuivre, le plomb et le fer; voici comment je procède :

J'opère la destruction de la matière organique par l'acide sulfurique, et la combustion du charbon par l'acide azotique.

Le résidu, dissous dans l'eau distillée chargée d'acétate d'ammoniaque, est acidifié par l'acide azotique et soumis à l'électrolyse dans les conditions que j'ai précédemment indiquées, le plomb est recueilli sur l'électrode positive lavé et pesé.

L'électrode négative, se recouvrant d'un dépôt métallique, est traitée par quelques gouttes d'acide azotique après interruption du courant et par un petit volume d'eau distillée. Le produit du lavage est réuni à la liqueur du creuset et aux eaux de lavage de l'électrode positive porté pendant quelque minutes à l'ébullition et traité par l'ammoniaque; le fer peroxydé est précipité, recueilli sur un filtre et lavé; la liqueur, réunie aux eaux de lavage et concentrée est électrolysée à nouveau; le cuivre se dépose sur l'électrode négative, c'est-à-dire sur les parois intérieures du creuset de platine. En renversant le courant je peux obtenir un dépôt sur une spirale de platine ou sur une feuille de ce métal roulée sur elle-même en forme de cylindre.

Une pesée, avant et après l'opération, donne le poids du cuivre.

Pour éliminer d'autres métaux, on peut transformer le sulfate en sulfure avant de l'électrolyser, ou traiter par l'acide chlorhydrique quand le cuivre se trouve en présence de l'argent.

Le dépôt de cuivre sur l'électrode est caractéristique, la coloration bleue que l'ammoniaque développe avec les sels de cuivre l'est également; en l'absence du fer on a aussi une coloration d'un rouge intense avec le ferrocyanure de potassium.

Recherche et dosage du fer.

Quand le fer est combiné à de la matière organique, il faut opérer la destruction de cette dernière; j'ai utilisé le procédé indiqué précédemment pour le plomb et pour le cuivre.

La solution des sulfates traitée par l'électrolyse ou par l'hydrogène sulfuré, est privée de plomb. Ce métal se précipite à l'état de sulfure ou se porte seul sur l'électrode positive; le fer reste en solution ou se dépose sur l'électrode négative, il peut être ensuite séparé du cuivre après oxydation par l'acide azotique et la chaleur et précipité par l'ammoniaque. Le précipité, desséché, lavé et incinéré est pesé, il représente $\text{Fe}^2 \text{O}^3$ du poids duquel on déduit celui du fer.

Le dosage du fer dans ces conditions n'est possible que si l'eau ne contient pas d'alumine, dans le cas contraire il faut opérer la séparation des deux oxydes précipités par l'ammoniaque. Pour cela je traite le précipité par l'acide sulfurique pour le rendre soluble et en présence de l'hyposulfite de soude je précipite l'alumine par le phosphate de soude; le précipité recueilli est lavé, les eaux de lavage sont réunies et servent au dosage du fer; j'ajoute de l'acide chlorhydrique et du chlorate de potasse pour précipiter le soufre qui se sépare de la liqueur par filtration ou décantation; je précipite ensuite le fer peroxydé par la chaleur et l'acide azotique au moyen de l'ammoniaque.

II. — Analyse chimique des eaux naturelles.

Les eaux naturelles contiennent en dissolution :

1° des gaz ;

2° des sels minéraux empruntés au sol ;

3° des composés organiques.

Les gaz empruntés à l'atmosphère sont, ordinairement : l'azote et les nouveaux gaz qui l'accompagnent, l'oxygène, l'acide carbonique; dans certains cas : l'ammoniaque, l'acide sulfureux, le chlore.

Ces gaz subissent des modifications dans l'eau, l'oxygène se transforme en ozone ou se combine, dans certains cas, avec les minéraux oxydables et avec les substances organiques; l'acide

carbonique forme des carbonates ou des bicarbonates ; malgré cela il reste une certaine quantité de ces gaz en dissolution ; on peut les apprécier en volume ou en poids.

Détermination du volume des gaz dissous dans l'eau.

L'azote, l'oxygène et l'acide carbonique libres sont entraînés par l'ébullition de l'eau, on peut les recueillir sur la cuve à mercure dans une éprouvette graduée.

Je me sers de l'appareil de M. A. Gautier : après avoir chassé l'air d'un ballon par l'ébullition d'une certaine quantité d'eau, j'introduis, en utilisant l'aspiration que produit l'abaissement de la température, une quantité d'eau déterminée ; je porte de nouveau à l'ébullition, je recueille les gaz contenus dans cette nouvelle prise, et je note la température, la pression atmosphérique et le volume V ; puis, à l'aide d'une pipette recourbée je fais passer dans l'éprouvette une solution de potasse caustique qui absorbe, après agitation, tout l'acide carbonique ; le nouveau volume V' est noté après 20 minutes ainsi que la température et la pression barométrique ; j'introduis ensuite de l'acide pyrogallique dissous à l'ébullition dans l'eau distillée et conservé à l'abri de l'air ; cet acide absorbe après 30 à 40 minutes l'oxygène libre, le nouveau volume V'' est noté ainsi que la température et la pression atmosphérique. Tous ces volumes ramenés par le calcul à 0° et à 760 m/m , permettent de déterminer les volumes des gaz dissous dans l'eau :

$V - V' = \text{Acide carbonique ;}$

$V' - V'' = \text{Oxygène ;}$

$V'' = \text{Azote et autres gaz.}$

Dosage de l'oxygène en poids.

Il existe trois procédés :

1^o Le procédé dit au *manganèse* qui repose sur ce principe que le protoxyde de manganèse naissant passe à l'état de bioxyde en présence de l'oxygène libre. En faisant agir sur ce sesquioxyde l'acide chlorhydrique et l'iodure de potassium, une quantité d'iode proportionnelle au chlore entre en solution, et comme le chlore est proportionnel au bioxyde formé on peut en déduire

par le dosage de l'iode le poids du sesquioxyde. 1^{cc} d'hyposulfite de soude $n/10$ qui égale 0 gr. 0127 d'iode représente 0 milligr. 8 d'oxygène;

2° Le procédé dit au fer est analogue. Il repose sur la facile oxydabilité du protoxyde de fer et exige une solution de permanganate de potasse titrée.

L'opération comporte deux dosages :

V représentant le volume de permanganate $n/10$ correspondant au poids de fer mis en œuvre; v le volume de liqueur employé après suroxydation;

$(V - v) \times 0.028 \times 0.1428 = \text{oxygène en poids};$

3° Le procédé que j'ai utilisé est basé sur ce fait que l'oxygène est absorbé par l'hydrosulfite de soude quand il est en solution avec lui dans l'eau. Je mets pendant 30 minutes au contact du zinc une solution de bisulfite de soude marquant 10° Baumé et je sature ensuite avec du lait de chaux; j'obtiens ainsi la solution réactif. Dans le même temps je décolore à l'aide de ce réactif 50^{cc} d'une solution de sulfate de cuivre ammoniacal (bouillie et contenant par litre 2 gr. 23 de sulfate de cuivre cristallisé) et 50^{cc} de l'eau à analyser, les deux solutions étant maintenues à l'abri du contact de l'air par une couche d'huile de vaseline. Pour marquer le terme de la réduction j'ajoute à l'eau une légère couche de bleu soluble de Coupier; j'ai opéré également sur une solution témoin et sur un mélange déterminé de la solution témoin et de l'eau à analyser.

10 centimètres cubes de la solution cuivrique correspondent à 1 centimètre cube d'oxygène à 0° et à 760^{mm}/_m bien qu'ils ne contiennent en réalité qu'un demi centimètre cube d'oxygène disponible.

Dosage de l'acide carbonique libre et demi-combiné.

On distingue : l'acide carbonique dissous et l'acide carbonique combiné des carbonates.

Pour obtenir le réactif de l'acide carbonique libre, je pèse 5 gr. 3 de carbonate sodique pur et desséché et je le verse dans un ballon jaugé contenant 1 litre d'eau; 1^{cc} de la solution contient 0 gr. 0022 de CO². J'emploie comme témoin la phtaléine rendue alcaline et acidifiée ensuite avec précaution jusqu'à virage net et persistant.

Je mesure 250^{cc} d'eau, j'ajoute quelques gouttes de phtaléine, ensuite le réactif jusqu'à ce que la coloration rose apparaisse, j'effectue la lecture, soit V, le volume employé.

$$V \times 0.0022 \times 4 = \text{C O}^2 \text{ libre au litre.}$$

Pour l'acide carbonique demi-combiné je me sert comme réactif de l'orangé III ammoniacal, et d'une solution d'acide chlorhydrique *n* 10; soit V' le volume de réactif employé; en supposant les combinaisons sous forme de bicarbonates, j'ai :

$$2 V' \times 0.0022 \times 4 = \text{C O}^2 \text{ demi-combiné au litre.}$$

L'acide carbonique total au litre se trouve donc :

$$(2 V' + V) \times 0.0022 \times 4.$$

Recherche et dosage des sels dissous dans l'eau.

Voici les opérations que j'ai effectuées successivement :

- 1° Prélèvement de 10 litres d'eau ;
- 2° Recherche des gaz dissous par les méthodes indiquées précédemment ;
- 3° Recherche immédiate de l'ammoniaque, des nitrites et des nitrates, de l'azote organique, des acides gras (dosages) ;
- 4° Détermination de l'extrait sec à 100-110°, dosage des sels anhydres, de la silice rendue insoluble ;
- 5° Dosage du fer et de l'alumine, de la chaux, de la magnésie, de la potasse et de la soude ;
- 6° Dosage du chlore et de l'acide sulfurique ;
- 7° Dosage des métaux et des métalloïdes découverts dans un examen préliminaire ;
- 8° Interprétation et coordination des résultats.

Recherche et dosage de l'ammoniaque.

J'introduis l'eau dans un appareil distillatoire à reflux constitué par un serpentin en verre et mis en communication avec un réfrigérant en *étain pur*. Afin de chasser préalablement toutes traces d'ammoniaque je porte une solution de carbonate de potassium pur et sec à l'ébullition, je recueille et j'examine avec le réactif de Nessler les produits de la distillation.

Quand ils sortent parfaitement incolores, j'introduis 500^{cc} d'eau et je recueille par portions séparées dans une atmosphère exempte de vapeurs ammoniacales 50^{cc} de liquide ; je le traite immédia-

tement par le réactif comparativement avec une solution titrée; j'en déduis la teneur en ammoniacque par la méthode colorimétrique.

Dosage de l'azote albuminoïde.

Par le même procédé, après avoir fait subir à la matière organique l'action du permanganate de potassium alcalin, je dose *la plus grande partie* de l'azote engagé dans les combinaisons organiques : pour cela, après avoir chassé par ébullition tout l'ammoniacque libre, j'opère la transformation de l'azote de la matière organique en ammoniacque que je dose comme précédemment.

Recherche et dosage des nitrites.

J'utilise deux procédés simultanément et comparativement :

Dans le premier, après avoir fait agir l'acide sulfurique dilué, j'introduis dans 10^{cc} d'eau 1^{cc} de réactif Trossdorff.

Dans le second cas j'ajoute à 10^{cc} d'eau une goutte d'acide sulfurique pur dilué au 1.5^e puis une goutte de solution aqueuse saturée d'acide sulfanilique et après quelques instants une goutte de solution saturée de sulfate de naphtylamine. L'intensité des colorations obtenues est appréciée par comparaison avec des solutions témoins.

Recherche et dosage des nitrates.

Après avoir évaporé à siccité 10^{cc} d'eau j'ajoute 1^{cc} du réactif sulfo-phénique obtenu par le mélange de 12 grammes d'acide phénique pur et cristallisé avec 115 grammes d'acide sulfurique exempt de composés nitrés. Après refroidissement, j'ajoute de l'eau et de l'ammoniacque, de façon à reconstituer le volume du liquide primitif et je compare la coloration obtenue à celle que donnent 10^{cc} d'eau distillée contenant un poids d'azotate de potasse connu, et une dose de chlorure de sodium égale à celle de la solution à analyser. Je dilue la solution, colorée avec de l'eau distillée de façon à obtenir égalité de teinte; le titre de la dilution me permet d'obtenir, par un calcul très simple, la teneur en nitrate.

Recherche des acides gras.

Je précipite par l'eau de baryte et le chlorure de baryum une

quantité d'eau, variable suivant les cas ; je recueille le précipité et je le traite par l'acide sulfurique dilué et le chloroforme. Les acides gras mis en dissolution cristallisent lentement par évaporation à l'air. Un examen microscopique me permet de reconnaître les cristaux et d'apprécier leur importance.

Détermination de l'extrait sec à 100-110°.

Dans un creuset de platine de 12^{cc} rempli d'eau, je laisse tomber goutte à goutte, au moyen d'un dispositif spécial, 200^{cc} d'eau à analyser, en réglant l'arrivée de l'eau de façon à ce qu'elle compense l'évaporation. Je porte ensuite le creuset à l'étuve à 110° et après une heure j'opère une pesée. La différence entre le poids initial du creuset P et le nouveau poids P' donne le poids de l'extrait correspondant à 200^{cc} ; $P' - P \times 5$ représente le poids correspondant à un litre d'eau.

Dosage des sels anhydres.

La capsule, portée au rouge, est pesée après l'obtention d'un résidu blanc ; le poids obtenu p permet d'obtenir les résultats suivants :

$p - P$ = sels anhydres ;

$P' - p$ = produits volatils ou perte au rouge.

Dosage de la silice.

L'extrait au rouge de 1000, 500, 250 centimètres cubes d'eau, suivant les cas, étant traité par l'acide chlorhydrique la silice se trouve à l'état insoluble ; j'évapore à siccité, puis je reprends par l'eau distillée par petites portions. Le résidu de la lixiviation est la silice : j'obtiens son poids par deux pesées.

Dosage du fer et de l'alumine.

J'ai indiqué le procédé que j'ai employé en présence d'autres métaux.

Dosage de la chaux.

Les eaux de lavage de l'extrait étant privées de la silice, sont portées à l'ébullition en présence d'une petite quantité d'acide azotique et traitées par l'ammoniaque pour éliminer le fer et

l'alumine. Elles sont amenées au volume de 100^{cc} et traitées ensuite par une solution d'oxalate d'ammoniaque.

L'oxalate de chaux précipité est recueilli et pesé après incinération et transformé en carbonate. Du poids obtenu je déduis le poids de la chaux que je rapporte à la prise d'essai.

Dosage de la magnésie.

Je la dose sous forme de phosphate ammoniaco-magnésien dans la liqueur privée de fer, d'alumine et de chaux. Le précipité lavé, séché et transformé en phosphate est pesé par différence, réduit par le calcul et rapporté à la prise d'essai.

Dosage des alcalis.

En précipitant la magnésie par l'eau de baryte je débarrasse la liqueur de l'acide sulfurique, elle ne contient plus ni silice, ni fer, ni alumine, ni chaux, ni magnésie; je l'additionne d'ammoniaque et d'oxalate d'ammoniaque; je filtre, j'évapore au bain-marie et à l'étuve et je calcine jusqu'à élimination des vapeurs ammoniacales; le résidu repris par l'alcool étendu et chaud est recueilli sur le filtre. La solution alcoolique évaporée laisse un extrait que je traite par l'acide chlorhydrique et que je porte au rouge sombre.

Puis je dose le chlore p et je déduis le poids des alcalis en potasse et en soude des deux équations suivantes :

$$\begin{aligned}x + y &= P \\ 0.4767 x + 0.606 y &= P\end{aligned}$$

x est le poids de la potasse et y le poids de la soude.

Dosage du chlore.

Pour doser le chlore dans l'eau ou dans le résidu précédent j'emploie la même méthode afin d'avoir des résultats comparables.

Dans les eaux peu minéralisées j'opère sur un demi-litre d'eau directement. Après avoir ajouté quelques gouttes d'une solution de chromate de potasse, je fais tomber goutte à goutte une solution titrée de nitrate d'argent jusqu'à virage au rouge. De la quantité de liqueur utilisée je déduis la quantité de chlore contenu dans l'eau.

J'ajuste ma liqueur avec une solution rigoureusement titrée de chlorure de sodium pur et sec, et pour préparer la solution de nitrate d'argent je pars d'un poids donné de *métal pur* que je transforme par de l'acide azotique pur en nitrate d'argent.

Dosage de l'acide sulfurique.

La liqueur débarrassée de la silice et partant des silicates, peut être précipitée par le chlorure de baryum. Je recueille le précipité, je le lave, je le sèche et je le pèse, et du poids obtenu je déduis celui de l'acide sulfurique.

Interprétation des résultats.

Pour interpréter les résultats il faut tenir compte d'une foule de choses et notamment de l'origine des éléments contenus dans l'eau.

Je suppose que la chaux est généralement sous forme de *carbonate*; quand elle est en très petite quantité et parfaitement soluble il est cependant téméraire de l'affirmer, l'urine des herbivores contenant du chlorure et du sulfate de calcium. En amenant par évaporation 5 litres d'eau de Vitré contenant 0 gr. 05 de chaux à 500^{cc} j'ai une solution contenant 0 gr. 10 de chaux par litre, cependant je n'obtiens pas de *précipité*; c'est donc que la chaux n'est pas sous forme de carbonate, celui-ci étant insoluble dans ces conditions.

De même j'ai constaté que beaucoup d'eaux provenant de puits contaminés contiennent de la chaux *parfaitement soluble* dans des conditions où le carbonate de chaux serait précipité. J'en conclus que dans les eaux contaminées la chaux se trouve à l'état de chlorure et de sulfate.

Les alcalis ne sont pas toujours non plus combinés au chlore en totalité; les silicates résultant de la décomposition des feldspaths sont des silicates alcalins.

III. — Méthodes bactériologiques.

Prélèvement.

La prise d'échantillon est l'opération la plus importante qui soit en bactériologie; dans *tous les cas* elle devrait être effectuée

par l'analyste ou sous sa direction; il s'agit, en effet, d'examiner un *objet* qui n'est *déterminé* que par les conditions dans lesquelles il a été recueilli.

Ces conditions sont essentiellement variables : elles dépendent d'une foule de circonstances dont la détermination et la constatation sont plus difficiles que l'analyse elle-même.

Je me suis proposé d'abord de rechercher dans les eaux que j'ai analysées l'intensité de la vie microbienne; j'ai prélevé l'eau courante des ruisseaux, l'eau des bornes-fontaines et des concessions particulières telles qu'elles sont consommées en temps normal. J'ai recherché ensuite quelles étaient les perturbations que pouvaient apporter les pluies torrentielles; j'ai effectué des prélèvements pendant que se produisait le phénomène. J'ai recherché aussi dans les dépôts et dans les vases les bactéries immobilisées, les *germes résistants* et les spores.

J'ai établi par des expériences, dans quelles circonstances pouvait s'opérer le développement de certains germes : aérobies vrais, anaérobies facultatifs et anaérobies. Enfin, pour établir la contamination de l'eau, j'ai recherché le *Micrococcus ureæ*, le *Bacille coli*, le *Bacille d'Eberth*, le *Sporagènes entéridès*, le *Bacille du tétanos*, le *Vibrion septique*, le *Bacille virgule*, dans deux ou trois litres d'eau et à plusieurs reprises. La contamination de un million de litres d'eau ne peut être décelée dans une très petite quantité d'eau et par un seul examen, les nappes d'eau transportées immédiatement ne se mélangent pas dans de vastes réservoirs.

J'ai examiné les dépôts sur les filtres et quand j'en ai eu la possibilité, j'ai recherché dans les dépôts, sur les parois des bassins et des conduits les espèces bactériennes dangereuses.

Numération des bactéries.

J'utilise pour cette opération des plaques de Petri et des fioles à fond plat, que l'on peut plus facilement préserver des contaminations extérieures. Comme milieu de culture j'utilise une gélatine-gélose nutritive qui peut résister à des températures de 25 degrés sans se liquéfier. Voici la formule que j'emploie :

Gélatine	100 gr.
Solution claire d'agar-agar à 0.5 %	900 »
Peptone Defresne	40 »
Sel marin	5 »

Cette gélatine stérilisée à 110° est répartie dans des tubes stériles ou dans les vases de culture et stérilisée à nouveau. J'ensemence dix plaques ou dix fioles, chacune avec 1/3 de centimètre cube de la dilution de 10^{re} d'eau, prélevés directement et mélangés par agitation à 1 litre d'eau *stérilisée froide*.

J'effectue la numération au bout de 15 jours, mais j'examine les cultures pendant un mois et plus, afin de bien distinguer les bactéries qui liquéfient la gélatine.

Recherches qualitatives.

L'examen des plaques et des cultures m'a permis de reconnaître certaines espèces bactériennes. Certaines cultures sont en effet typiques, mais en général je me contente de signaler les colonies liquéfiantes et non liquéfiantes, et au bout de 15 jours d'en effectuer la numération.

En transportant dans divers milieux certaines colonies obtenues sur plaques, j'ai distingué :

Les *Bacillus termo* DUJARDIN, *fluorescens liquefaciens* FLÜGGE, *fluorescens putridus* FLÜGGE, *amylobacter* TRÉCUL ; les *Micrococcus aquatilis* BOLTON, *ureæ* PASTEUR, *aurantiacus* COHN, *luteus* COHN, *viscosus* PASTEUR ; des *Penicillium glaucum* et des moisissures diverses.

Le *Bacillus termo* DUJARDIN, très commun dans les eaux, se présente sous la forme de bâtonnets trapus de 1, 4 μ de long sur 0,8 μ de large, aussi sous forme de cocco-bacilles en chaînette à mouvements rapides et spontanés (un bacille se détache et parcourt le champ du microscope) ; colonies grisâtres, plus blanches au centre, liquéfiant très rapidement la gélatine ; la colonie peut atteindre des dimensions considérables. Dans un tube de gélatine, le bacille creuse un entonnoir ; en bouillon on a un trouble uniforme avec un léger voile à la surface et un dépôt au fond, à la longue il prend une couleur verdâtre et *sent très mauvais* ; sur gélose, colonies grisâtres extérieures ; sur pomme de terre enduit glaireux, gris-jaune ou verdâtre.

Le *Bacillus fluorescens liquefaciens* FLÜGGÉ : petits bâtonnets courts, un peu plus petits que les précédents ; colonies rondes incurvées, brunes au centre, très dégagées dans les contours ; il liquéfie rapidement la gélatine et produit une fluorescence verte atteignant quelquefois un rayon de un demi-centimètre, il se développe rapidement à 25°, moins rapidement à 38° ; dans le bouillon le liquide devient vert, il en est de même sur la gélose, qui s'imprègne assez profondément. Toutes les cultures *sentent très mauvais*.

Le *Bacillus fluorescens putidus* FLÜGGÉ a la forme d'un coccobacille ; donne de très petites colonies granuleuses et découpées dont le centre, plus foncé, est entouré d'une zone jaunâtre bordée en gris clair ; sécrète un pigment vert qui imprègne la gélatine environnante *non liquéfiée* ; odeur infecte de triméthylamine. Ce bacille ne prend pas le Gram.

Le *Bacillus amylobacter* TRÉCUL a des formes très variables, large et quelquefois très long (10 μ sur 1 μ de large ; devient filamenteux dans les vieilles cultures, porte des spores tantôt au milieu tantôt à une des extrémités ; se développe dans l'intérieur de la gélatine, liquéfie celle-ci, prend contact avec l'air et cesse de se développer, il reste au fond de la cuvette une masse brune composée de spores. Si on les transporte dans du bouillon stérile et qu'on le porte à l'ébullition sous une couche de cire stérilisée, les spores, *non détruites* par la chaleur, se développent et se reproduisent à l'abri de l'air. Dans le lait bouilli et isolé de l'air ambiant par une couche d'huile de vaseline ou par la crème il se développe également, de même *dans le bouillon sous la couche de graisse*, il dégage une odeur complexe, rance, ammoniacale ; il se développe dans le bouillon des laboratoires additionné d'oxyde ferreux ; après peroxydation on trouve, *dans la masse rougeâtre*, des spores que l'on peut cultiver à nouveau à l'abri de l'air. Pendant la durée de l'oxydation, on constate que l'oxyde de fer sert de support végétatif au bacille, qui se développe en *longs filaments*.

Le *Bacillus amylobacter* est anaérobie mais il peut se développer, comme on l'a vu, dans des milieux réducteurs ; on le trouve dans des eaux en concurrence avec des bactéries qui absorbent l'oxygène ou en présence de décompositions organiques

qui se produisent aux dépens de cet élément, il se trouve surtout à l'intérieur des débris végétaux, dans les vases, dans les bouchons ferrugineux et sur les parois des canalisations, dans les fissures où l'oxydation forme des milieux anaérobies. Il n'est pas détruit par l'ébullition ; ses spores peuvent se développer spontanément dans les liquides anaérobies, dans l'eau bouillie, dans le bouillon, dans le lait et même dans le cidre en fermentation qui dégage de l'acide carbonique. Il se loge dans les anfractuosités des tonneaux et donne une odeur désagréable et une consistance visqueuse à certains cidres, fabriqués avec des pommes vertes qui contiennent des matières amylacées.

Le *Micrococcus aquatilis* BOLTON, examiné au microscope, apparaît en amas pointillés ; les colonies ressemblent, à la surface, à un globe opaque ; en profondeur, elles prennent une forme verruqueuse et deviennent grisâtres, elles ne liquéfient pas la gélatine ; cultivent à la température des appartements et donnent sur la gélose un enduit crémeux blanc.

Le *Micrococcus ureæ* PASTEUR. — Sous ce nom j'ai désigné le coccus qui transforme l'urée en ammoniacque dans un laps de temps déterminé, opérant une action analogue à celle des ferments ammoniacaux de l'urine. J'ai pris pour terme de comparaison un bouillon contenant 2, 5 % d'urée, 12 grammes de chlorure de sodium, 3 grammes de phosphate de soude et 2 % de peptone. La transformation de l'urée en ammoniacque devait être presque complète au bout de 5 jours à 30°. Le résidu, au bout de 8 jours, devait en tous cas être inférieur au 1/5^e de l'urée mis en expérience.

Il m'a semblé que la nature du ferment qui opérait la transformation de l'urée des purins dépendait de leur degré de concentration. Dans les solutions très diluées, un grand nombre de bactéries et de coccus peuvent contribuer à cette transformation et, parmi eux, le *Bacterium coli*.

Le *Micrococcus ureæ*, au contraire, se sélectionne dans le bouillon qui contient 25 à 30 ‰ d'urée et surtout dans celui qui en contient 70 ‰, mais dans ce cas il n'opère pas la transformation complète de l'urée avec la même rapidité, l'action se ralentit sensiblement à la fin. Sur plaques, il liquéfie plus ou moins rapidement la gélatine, les colonies, discrètes d'abord,

s'étalent ensuite dans les vieilles cultures ; elles ont la largeur d'une pièce de cinquante centimes et une odeur de colle.

Le *Micrococcus aurantiacus* COHN : colonies ovoïdes non liquéfiantes, d'un jaune orange ; coccus groupés sécrétant leur pigment dans tous les milieux de culture (vivent dans l'eau de Seltz).

Micrococcus luteus COHN. — Plus petit, donne un pigment d'un jaune plus vif que le précédent.

Le *Micrococcus viscosus* PASTEUR produit la graisse des cidres et des vins, en concurrence avec le bacille amylobacter. Il se trouve fréquemment dans les eaux de puits, dans l'intérieur des fermes. Pour l'isoler on constitue, avec l'eau à analyser, un cidre sucré et peu tannique ; j'ai remarqué que les cidres obtenus avec des pommes acides ou douces, qui dans nos pays n'arrivent jamais à maturité, *graissent infailliblement à l'époque des fortes chaleurs et des orages.*

Pour constituer avec l'eau à analyser un liquide favorable au développement des espèces qui produisent la graisse, j'ai adopté le mode opératoire suivant :

L'eau à analyser, additionnée de 3 grammes pour 100 grammes de saccharose et de 1 gramme d'amidon et mélangée à son volume de *cidre clair et acide, stérilisé*, est abandonnée dans un appartement chauffé, placée au soleil en plein été ou maintenue à l'étuve à 30°. Dans un grand nombre de cas, le liquide prend une consistance visqueuse et contient du *Micrococcus viscosus* Pasteur ; dans d'autres cas on trouve des coccus ou des bacilles appartenant à d'autres espèces susceptibles de produire de la graisse. Le coccus de Pasteur présente la forme de petites cellules rondes, comme des levures de 2 μ environ de diamètre.

Recherche du Bacterium coli commune Escherich.

Pour rechercher ce bacille qui est un indice de contamination fécale, j'utilise la méthode des bouillons phéniqués en combinant et en modifiant les procédés de MM. Vincent et Péré.

Avec des prélèvements d'eau de 5, 10, 25, 500, 2.000 centimètres cubes, recueillis sur place dans des vases stérilisés, je constitue, en ajoutant une quantité déterminée d'une solution concentrée et stérilisée de peptone et quelques gouttes d'acide phénique, un milieu de culture qui contient 20 grammes de peptone et 1 gramme

d'acide phénique pour 1.000^{cc}. Ces solutions sont maintenues à l'étuve à 42° pendant 24 heures et réensemencées quand elles sont troubles sur d'autres milieux. Ce premier essai me sert à apprécier le degré de contamination de l'eau; des résultats obtenus je conclus qu'il y a du bacille coli en quantité suffisante pour se sélectionner dans 5, 10, 25, 500 centimètres cubes d'eau.

En opérant sur 5^{cc} d'eau on a généralement fort peu de chance de déceler le bacille coli, puisque, en opérant avec des masses considérables, on ne le met pas toujours en évidence dans des eaux que l'on a contaminées avec des matières fécales ou des cultures du bacille. C'est pourquoi je me suis employé à mettre en expérience des quantités considérables du liquide : deux litres au moins, recueillis sur place dans un ballon de culture et au moment où je supposais que devait se produire la contamination.

Ma méthode diffère de celle de MM. Vincent et Péré en ce que chaque passage en milieu phéniqué est suivi d'un séjour en bouillon simple. J'ai remarqué en effet que le bacille coli, en concurrence avec certaines bactéries, disparaît des bouillons phéniqués au bout de quelques passages; qu'en tous cas il perd rapidement sa mobilité et prend une forme de souffrance. Le passage en bouillon simple lui redonnant de la vigueur, me permet de continuer sa sélection en milieu phéniqué. Tous les matins, à la même heure, je fais des ensemencements et j'inscris sur chaque tube les origines de la culture.

Après 4 jours, je possède des tubes portant les annotations suivantes :

1^{er} jour : P h¹ /2 litres, 1^{er} ensemencement : généralement trouble/;

2^e jour : P h² /2^e ensemencement en milieu phéniqué/; P h¹ S¹ /ensemencement en bouillon simple/;

3^e jour : P h³ /3^e ensemencement/ ; P h¹ S¹ P h² /passage du bouillon simple en bouillon phéniqué/; P h² S¹ /séjour en bouillon simple/;

4^e jour : P h¹ /4^e ensemencement/ P h¹ S¹ P h³, P h¹ S¹ P h² S², P h³ S¹, P h² S¹ P h³, etc.

Le cinquième jour j'examine les tubes et avec ceux qui sont troubles je fais des ensemencements en strie sur milieu d'Ellsner et de Grimbert et sur gélose lactosée tournesolée. Je maintiens à l'étuve à 20° et à 39° jusqu'à développement des colonies; j'examine celles qui présentent les caractères de culture des

bacilles du groupe coli. (Aspect spécial et fermentation de la lactose qui se traduit par une décoloration de la gélose tournesolée).

Ces cultures sont ensuite ensemencées :

1^o En bouillon simple (pour observer les caractères morphologiques : mobilité, cils, forme en bâtonnet);

2^o En bouillon lactosé tournesolé (pour constater la fermentation lactique);

3^o En eau-peptone Defresne (pour constater la production de l'indol);

4^o Sur gélatine d'Ellsner et de Grimbart (pour constater la non liquéfaction et la forme spéciale des colonies);

5^o Sur pomme de terre, sur gélose, sur divers milieux (pour constater des particularités de cultures signalées par des auteurs).

Je considère comme appartenant au groupe coli les bacilles qui ont la forme de bâtonnets après plusieurs passages en bouillon simple, qui donnent *la réaction de l'indol*, qui ne liquéfient pas la gélatine, qui produisent la fermentation lactique et qui ne prennent pas le Gram. (Virulents ou non vis-à-vis du lapin ou du cobaye); *anaérobies facultatifs*.

Je considère comme intermédiaires entre le bacille coli et le bacille d'Eberth des bacilles qui ont la forme de bâtonnets mobiles, qui donnent des colonies types et sans liquéfier la gélatine, qui ne font pas fermenter la lactose, qui ne donnent pas la réaction de l'indol et qui ont sur pomme de terre, sur gélose et en bouillon l'aspect caractéristique décrit par les auteurs.

Quand ces bacilles s'agglutinent en présence de *serum de sang typhique*, je les considère comme appartenant à l'*espèce microbienne* qui a produit l'infection chez l'individu dont j'expérimente le serum.

CHAPITRE II

ACTION DE CERTAINES EAUX NATURELLES SUR LE PLOMB

- I. — EMPOISONNEMENTS SATURNINS DE VITRÉ :** Constatations des médecins. — Action de l'eau sur les canalisations. — Influence des bouches d'arrosage. — Action des coups de bélier. — Insuffisance de la pression dans la partie haute de la ville. — Insuffisance du calibre de certaines canalisations de la partie basse. — Influence des variations de pression sur la dissolution du plomb; expériences. — Action des robinets.
- II. — RECHERCHES AYANT POUR BUT DE DÉTERMINER L'ACTION DE L'EAU ET DES DIVERS ÉLÉMENTS QU'ELLE TIENT EN DISSOLUTION :** Composition de l'eau de Vitré. — Action de l'eau distillée pure sur le plomb. — Action de l'eau pure saturée d'azote. — Action de l'eau pure et de l'oxygène. — Action de l'eau pure et de l'acide carbonique. — Action des gaz oxygène et acide carbonique. — Action de l'eau aérée tenant en dissolution de l'oxygène et de l'acide carbonique. — Action des azotates. — Action des sulfates. — Action des chlorures. — Action des bromures et des iodures. — Action des silicates alcalins. — Action des carbonates alcalins. — Action du carbonate de chaux. — Action des matières organiques. — Action du couple plomb-cuivre sur les eaux et les solutions artificielles. — Mécanisme de l'attaque du plomb par les eaux naturelles et en particulier par l'eau de Vitré.
- III. — ACTION DE L'EAU PLOMBÉE SUR L'ORGANISME :** Doses probables de plomb absorbées par les malades. — Observations clinico-chimiques. — Renseignements fournis par la statistique.

I. — Empoisonnements saturnins de Vitré.

Constatations des médecins.

Pendant les mois d'août, de septembre et d'octobre 1900, les médecins de la ville de Vitré et plusieurs médecins de Rennes (1),

1. Parmi lesquels M. le docteur Ferrand, qui a découvert chez tous les membres d'une même famille les symptômes de l'empoisonnement saturnin.

appelés en consultation, observèrent dans leur clientèle urbaine des accidents nombreux, dont les symptômes les amenèrent à soupçonner un empoisonnement saturnin généralisé.

Le 27 septembre, je reçus à examiner divers objets servant à l'usage alimentaire et suspectés de contenir du plomb. Le même jour, M. le docteur Leroy ayant constaté chez plusieurs habitants de Vitré des symptômes d'intoxication par le plomb, me priaît de rechercher avec lui l'origine du plomb qui avait pu causer ces empoisonnements.

L'origine professionnelle ayant été écartée après un premier examen des faits, nous avons remarqué dès ce moment que toutes les personnes atteintes consommaient l'eau des concessions municipales, canalisées dans des tuyaux de plomb. D'accord avec le médecin, je fis dans ce sens des recherches qualitatives et des dosages. Je reconnus que l'eau, prise à divers moments de la journée et dans les conditions ordinaires de la consommation, contenait des doses relativement énormes de plomb, des doses très certainement dangereuses. J'examinai chez ces mêmes personnes les étamages et les ustensiles de cuisine, les farines, le cidre et les pompes à cidre, les soudures des boîtes de conserves, etc. Les résultats furent négatifs relativement à la présence du plomb. Il fallait donc attribuer les accidents à l'eau bue par les malades.

Action de l'eau sur les canalisations.

Étendant alors le cercle de mes investigations, j'acquis bientôt la certitude que l'eau de toutes les concessions de Vitré contenait des doses de plomb très appréciables et qu'il en était de même, dans certaines conditions, de l'eau des bornes-fontaines. Toutes les canalisations étant composées en tout ou en partie de tuyaux de plomb, je recherchai si ces tuyaux ne fournissaient pas à l'eau les composés plombiques qu'elle contenait. J'appris du service des eaux qu'après trois années d'usage les tuyaux ne portaient pas l'enduit calcaire qui d'ordinaire protège le métal contre la dissolution. L'eau du service municipal est très peu minéralisée; son degré hydrométrique varie entre 4 et 5; elle contient à peine 1 centigramme de chaux par litre; elle ne contient pas de plomb à l'origine.

C'est en connaissance de tous ces faits que j'entrepris l'examen de l'eau des concessions particulières, dans les conditions diverses où elle est consommée. Je fis des prélèvements correspondant à la consommation normale, en faisant varier, dans la plus large mesure, les circonstances suivant lesquelles l'eau pouvait exercer ses propriétés dissolvantes. L'eau, restée dans les tuyaux pendant la nuit et recueillie le matin par les habitants, contenait des doses variant de 1 centigramme à 1 centigramme et demi de plomb-métal par litre; le premier litre contenait 13 milligrammes de plomb-métal; les dix litres tirés ensuite, qui étaient plus que suffisants pour renouveler l'eau de la conduite, contenaient 50 milligrammes de plomb (5 milligrammes par litre). Il fallait donc éliminer l'eau ayant séjourné dans la conduite pour recevoir de l'eau exempte de plomb à dose pondérable. Je constatai ensuite qu'un temps de stagnation court suffisait pour faire apparaître le plomb à l'état soluble. Un écoulement continu, mais modéré, ne pouvait pas empêcher cette action. C'est ainsi qu'un filtre Chamberland, continuellement en fonction, laissait filtrer de l'eau renfermant des doses de plomb considérables. Ce plomb devait être en solution, ou à l'état de poussière très tenue, puisque le même filtre avait pu me servir à stériliser des cultures de levures.

Dans une expérience, après avoir fait écouler une quantité d'eau considérable, j'ai trouvé, après une demi-heure de stagnation, un demi-milligramme de plomb par litre; au bout de quatre heures de contact, 9 milligrammes.

Je crus dès lors de mon devoir d'indiquer à mes clients de se défier des canalisations de plomb et de s'abstenir de l'eau de la ville d'une façon absolue. J'estimai, en effet, qu'en l'état actuel, ils ne pouvaient connaître d'une façon certaine la nature des tuyaux qui leur amenait l'eau; l'administration ayant employé le plomb très irrégulièrement dans l'établissement de ses canalisations. L'eau courante contenait d'ailleurs, je l'ai vérifié sur certaines concessions, des traces de plomb dangereuses pour des personnes malades et sursaturées de plomb.

Comme eau potable, j'indiquai l'eau des bornes-fontaines au moment où la consommation générale les met en écoulement continuel, et je conseillai de toujours perdre les premiers litres.

Je n'ai, en effet, jamais pu déceler la présence du plomb dans l'eau recueillie en pareilles circonstances. Les bornes-fontaines présentent, en effet, sur les concessions particulières, l'avantage d'un débit plus considérable, d'une canalisation en plomb moins longue et d'un diamètre plus grand, donnant une surface de contact moindre pour un même volume d'eau écoulé.

Influence des bouches d'arrosage.

Une hypothèse émise par M. Girard, directeur du laboratoire municipal de Paris, fut admise un moment par la municipalité de Vitré. On pensa que l'attaque des tuyaux provenait de ce que l'eau se trouvait à certains moments chargée d'air introduit dans les conduites par suite de l'ouverture simultanée de nombreuses bouches d'arrosage. Cette cause ayant été supprimée, la présence du plomb fut de nouveau constatée dans l'eau.

Action des coups de bélier.

Dans de nombreuses concessions j'avais constaté de violents retours d'eau que l'on nomme vulgairement « coups de bélier » ; j'avais remarqué en outre qu'ils étaient précédés d'un sifflement provoqué par l'entrée de l'air extérieur dans la canalisation, cet air pénétrant d'autant plus facilement que les robinets de cuivre sont attaqués par l'eau.

Je constatai d'autre part la présence de nombreuses bulles d'air dans l'eau recueillie immédiatement après le choc en retour et j'ai trouvé, dans certains cas, plus de 60^{cc} de gaz par litre d'eau. Ces coups de bélier, ainsi que j'ai pu le constater, se produisent très souvent et particulièrement aux heures où l'on s'approvisionne d'eau aux bornes-fontaines. Ils se multiplient surtout dans les canalisations particulières qui ont un grand nombre de robinets ouverts en même temps.

Insuffisance de la pression dans la partie haute de la ville.

Les canalisations au repos subissent ces mêmes inconvénients dans la partie haute de la ville, où la pression est peu considérable. L'eau y est amenée, en effet, par un tuyau de fonte coaltarisée de 1.050 mètres de long et de 300 millimètres de diamètre, qui

part du réservoir à la cote de 115 et qui aborde en ville à la cote de 110 mètres; dans certaines maisons la pression est trop faible pour amener l'eau aux étages supérieurs. J'ai constaté, dans plusieurs circonstances, qu'une prise d'eau à une borne-fontaine ou à une concession particulière provoquait une aspiration dans les tuyaux de la concession voisine, située à un niveau plus élevé.

Insuffisance du calibre de certaines canalisations dans la partie basse.

Sur la canalisation principale sont branchés des tuyaux de fonte de 180, 162, 135 millimètres de diamètre qui portent des ramifications de même métal ayant : 100, 80, 60 et 40 millimètres. Dans la partie basse, ces ramifications de petit diamètre alimentent souvent un trop grand nombre de bornes-fontaines ou de concessions particulières, desservies par des tuyaux de 40 et de 20 millimètres de diamètre, si bien qu'à certains moments, quand l'eau s'écoule par plusieurs orifices, il se produit une aspiration dans les canalisations supérieures. Dans ces quartiers la pression est considérable, puisque la différence de niveau avec le réservoir est en certains points de près de 60 mètres.

Quand les bornes-fontaines sont mises simultanément en action dans la partie basse à la cote de 60, habitée par la population ouvrière, le matin, le midi et le soir, quelques instants avant l'heure des repas, cet écoulement abondant suffit à provoquer une aspiration considérable dans les tuyaux voisins et dans ceux de la partie haute : il en est de même quand on se sert de bouches d'arrosage.

Influence des variations de pression sur la dissolution du plomb ; expériences.

J'instituai des expériences afin de savoir si cette variation accidentelle était la seule cause de l'attaque des tuyaux, en prélevant des échantillons dans des concessions isolées du service d'eau par des clefs ou en mettant de l'eau en contact avec le plomb dans des tuyaux hermétiquement clos; je constatai, dans ces conditions, la présence de doses très appréciables de plomb (8 à 10 milligrammes), moins fortes cependant que celles que l'on décelait dans les eaux soumises à l'influence des variations de pression. Pour solutionner définitivement le conflit, on adressa à M. Girard, directeur du laboratoire municipal, des

eaux recueillies par une commission du Conseil d'Hygiène de Vitré, dont je faisais partie, et prélevées dans les conditions que je viens d'indiquer; ses résultats furent conformes aux miens et signalèrent la présence de plusieurs milligrammes de plomb.

La théorie qui consistait à attribuer exclusivement à l'aération accidentelle de l'eau l'attaque des tuyaux fut donc abandonnée, et l'on admit officiellement les conclusions de M. Lechartier, rapporteur du Conseil départemental d'Hygiène, déclarant que l'eau de Vitré exerçait une action sur le plomb dans des tuyaux fermés, par les éléments qu'elle contenait et sans qu'il soit nécessaire de faire intervenir l'action de l'air; comme j'avais constaté que les doses de plomb étaient plus considérables dans l'eau d'une même canalisation après un même temps de séjour dans les tuyaux, quand cette canalisation, en contact avec la conduite principale, était soumise aux variations de pression, je me proposai de déterminer l'importance de cette action.

Je recueillis l'eau contenue dans un tuyau de plomb privé de son robinet de cuivre et obturé par un bouchon de caoutchouc, et je constatai que 10 litres d'eau prélevés après 12 heures de contact contenaient, quand le service était isolé, 12 milligrammes par litre et, lorsqu'il était relié au service principal et soumis aux à-coups de pression, des doses variant entre 15 et 20 milligrammes par litre; les premiers litres contenant des doses de plomb *très fortes*.

Action des robinets.

Pour déterminer l'action du couple plomb-cuivre et l'influence que pouvaient exercer les robinets dans l'attaque du plomb par l'eau, j'ai isolé une canalisation particulière et j'ai recueilli par l'orifice supérieur en faisant agir la pression, après 10 heures de contact, séparément 10 litres d'eau : le premier litre contenait 0 gr. 012 de plomb, les 9 autres litres contenaient 0 gr. 099 de plomb, soit par litre : 0 gr. 011. En remplaçant le robinet par un bouchon de caoutchouc et en recueillant l'eau dans les mêmes conditions, j'ai trouvé pour le premier litre 0 gr. 012 de plomb et pour les autres : 0 gr. 010. La différence était trop petite pour me permettre de conclure à une influence quelconque.

II. — Recherches ayant pour but de déterminer l'action de l'eau et des divers éléments qu'elle tient en dissolution.

Composition de l'eau de Vitré.

Diverses analyses de l'eau de Vitré, exécutées par de nombreux chimistes et à différentes reprises, permettent de lui attribuer la composition moyenne suivante.

Un litre d'eau peut se décomposer en :

Eau.	1 litre
Acide carbonique dissous	0 gr. 004 à 0 gr. 02
Oxygène dissous	0 0115 environ
Chlorures alcalins	0 03
Chaux.	0 010
Magnésie.	0 006
Azotates contenant : acide azotique	0 008
Silicates divers, contenant : silice	0 010
Sulfates contenant : acide sulfurique	0 002 à 0 gr. 004
Acides volatils et organiques.	0 0001 à 0 0003

Action de l'eau distillée pure sur le plomb.

Pour déterminer l'action de l'eau distillée privée des gaz qu'elle tient en dissolution sur le plomb neuf récemment fondu et débarrassé de ses impuretés, j'ai institué les expériences suivantes :

1° Dans un ballon de un litre muni d'un bouchon à deux trous, j'ai enfermé 500^{cc} d'eau récemment distillée, neutre, ne laissant aucun résidu à l'évaporation et ne contenant aucune impureté; j'ai porté ce liquide dans le vide à l'ébullition à la température de 25°, après avoir adapté deux tubulures de verre plongeant dans l'atmosphère du ballon et reliées : l'une avec une trompe à eau, et l'autre au moyen d'un tube gradué de plus de un mètre avec une cuve à mercure. Au bout de vingt minutes j'ai introduit une lame de plomb récemment fondue, de 18 centimètres de long sur 5 centimètres de large et d'une épaisseur moyenne de 1 millimètre, aussitôt après avoir introduit le métal j'ai provoqué à nouveau l'aspiration de l'air dans le ballon et maintenu le liquide pendant 30 minutes à l'ébullition. Au bout de ce temps j'ai séparé de la trompe et fermé hermétiquement

l'orifice d'aspiration et noté la température extérieure $t = 25^{\circ}$, la hauteur barométrique $H = 770$ et la hauteur du mercure dans la tige : $h = 742^{\text{mm}}_{\text{m}}$, plus une hauteur d'eau distillée et condensée de 5 centimètres, correspondant à 3 milligr. 8 de mercure. J'ai laissé le système au repos; après 72 heures de contact, la hauteur du mercure dans la tige était de $735^{\text{mm}}_{\text{m}}$, la pression atmosphérique de $765^{\text{mm}}_{\text{m}}$, la température de 22° .

Le plomb s'était maintenu très brillant dans l'eau distillée, le liquide était clair et après réduction au $1/20^{\text{e}}$, ne se colorait pas par l'hydrogène sulfuré ou le sulfhydrate d'ammoniaque. Une partie de ce liquide, évaporée avant le passage de l'hydrogène sulfuré, ne laissait sur une lame de platine aucun résidu. De cette expérience, je conclus : que l'eau chimiquement pure, privée des gaz qu'elle emprunte à l'atmosphère, est à la température de 25° sans action sensible sur le plomb.

2° Dans le même ballon, sans faire le vide, j'ai porté le même volume d'eau à l'ébullition à 100° ; après 20 minutes j'ai introduit le plomb maintenu par un support en verre à l'abri du contact de l'eau mais au milieu de la vapeur.

J'ai constaté qu'il se ternissait très rapidement, se couvrant d'une couche noire d'oxyde de plomb $Pb^{\circ}O$; le produit de l'ébullition, recueilli sur la cuve à mercure, contenait de l'hydrogène et de la vapeur d'eau. Pendant 20 minutes d'ébullition j'ai recueilli 15 à 20 centimètres cubes d'hydrogène presque pur; la lame de plomb était devenue complètement noire.

L'eau du ballon contenait des traces de plomb provenant de la chute des gouttelettes condensées sur le plomb. En amenant le plomb au contact de l'eau je provoquai, par agitation, l'entraînement du plomb oxydé sur la lame; l'eau analysée contenait par litre : 0 gr. 01 de plomb.

Le plomb étant mis en contact avec l'eau dès le début de l'ébullition, celle-ci ne se chargeait, après 20 minutes, que de 0 gr. 005 de plomb par litre.

Après contact pendant 72 heures de l'eau et du plomb à l'abri de l'air extérieur, dans le vide provoqué par l'ébullition, j'ai constaté que celle-ci contenait la même dose de plomb : 0 gr. 005 par litre.

De ces expériences, je conclus :

1° Que la vapeur d'eau exerce une action sur le plomb et se décompose à son contact aux températures voisines de 100°.
Cette action peut être exprimée par la formule



2° Que l'eau distillée réagit également sur le plomb pendant l'ébullition;

3° Que à l'abri de l'air, pendant le refroidissement et après un contact prolongé, elle n'exerce aucune action sensible sur le plomb.

Action de l'eau pure saturée d'azote.

Dans un ballon, disposé comme précédemment, j'ai fait passer par une des tubulures un courant d'azote obtenu par l'action de l'hypobromite de soude sur le chlorhydrate d'ammoniaque, privé de toute trace d'oxygène ou d'acide carbonique par un passage dans des solutions bouillies d'acide pyrogallique et de potasse. L'autre tubulure servait d'orifice de dégagement. L'eau était portée à l'ébullition pendant 30 minutes et refroidie par immersion dans une cuvette d'eau froide. Le plomb était introduit très rapidement et le courant d'azote maintenu pendant une heure. Le système était ensuite hermétiquement clos aux orifices de dégagement par un scellé à la lampe.

Après 72 heures de contact, le liquide, réduit au 1/20^e, ne présentait aucune coloration après le passage de l'hydrogène sulfuré. Une autre partie, évaporée, ne laissait sur une lame de platine aucun résidu.

Cette expérience confirme les précédentes et permet de considérer que l'azote de l'air dissous dans l'eau est sans action sur le plomb.

Action de l'eau pure et de l'oxygène.

Dans les mêmes conditions, j'ai fait passer dans de l'eau portée pendant 30 minutes à l'ébullition, un courant d'air (oxygène et azote) privé d'acide carbonique par son passage dans des flacons laveurs contenant une solution de potasse. Le contact de l'eau et du plomb a été maintenu pendant 72 heures à l'abri de l'air ambiant. Le liquide, réduit au 1/20^e, se colorait très légèrement par l'hydrogène sulfuré et contenait moins de 0gr.0001 de plomb; le métal était demeuré brillant, cependant

un examen au microscope permettait de déceler, en certains endroits seulement, des traces d'oxydation.

Action de l'eau pure et de l'acide carbonique.

Dans les mêmes conditions que précédemment, j'ai fait passer dans de l'eau pure, portée pendant 30 minutes à l'ébullition, un courant d'acide carbonique privé d'oxygène par son passage dans une solution concentrée d'acide pyrogallique.

Après 72 heures de contact le plomb était demeuré extrêmement brillant, le liquide était clair et limpide mais contenait cependant des doses de plomb variant de 0 gr. 001 à 0 gr. 003 par litre, correspondant sans doute aux traces d'oxygène, demeurées dans le liquide malgré l'ébullition, introduites par le plomb ou par le courant d'acide carbonique.

Mis en présence de l'air libre, le liquide ne tardait pas à se charger de plomb, au bout de une heure il en contenait déjà 0 gr. 02 et au bout de 12 heures 0 gr. 05. L'acide carbonique, à saturation dans l'eau, maintenait l'hydrocarbonate de plomb en dissolution pendant quelque temps, car le liquide restait limpide pendant plusieurs heures. Il ne devenait trouble et portait en suspension des petits flocons cristallins que lorsque la dose de plomb dépassait 2 centigrammes par litre; dans ce cas le plomb se ternissait rapidement et se recouvrait d'une couche grisâtre de sel de plomb. Si l'on maintenait le liquide au repos, la dose de plomb en suspension dans le liquide n'augmentait pas, le sel de plomb adhérent au métal jouant un rôle protecteur.

Action des gaz oxygène et acide carbonique.

Si l'on met en présence sous une cloche du plomb et de l'air sec ou un mélange d'oxygène et d'acide carbonique privé de toute vapeur acide et de la vapeur d'eau, on peut constater que le métal n'est pas attaqué au bout de plusieurs semaines, mais dès que l'on fait passer un courant d'air humide le plomb se ternit rapidement et se recouvre d'une couche grisâtre, qui est un mélange d'oxyde de plomb Pb^2O et d'hydrocarbonate de plomb.

Action de l'eau aérée contenant en dissolution de l'oxygène et de l'acide carbonique.

L'eau aérée attaque très rapidement le plomb qui se recouvre d'une couche d'hydrocarbonate soluble au début dans un excès d'acide carbonique, mais qui se précipite à mesure que cet acide disparaît. Si on laisse le liquide au repos, l'attaque se trouve arrêtée par un dépôt d'hydrocarbonate sur la lame métallique. Il en est de même si on isole le liquide de l'atmosphère dans un vase plein bouché hermétiquement ou si l'on interpose une couche d'huile de vaseline. Si, au contraire, on agite le liquide et si l'on maintient le sel de plomb en suspension, on favorise l'attaque dans des proportions considérables. Si l'on fait passer dans le liquide un courant d'acide carbonique et un courant d'air, le plomb reste longtemps brillant et le liquide clair contient en dissolution des quantités relativement considérables de plomb.

Un litre d'eau distillé, mis en contact avec une lame de plomb neuf ayant une surface de 100^{cm}² contient, au bout de 6 heures :

Dans un vase fermé au repos	0 gr. 02	de plomb
Dans un vase ouvert au repos	0 03	—
Dans un vase constamment agité	0 08	—
Quand on fait passer un courant d'air et d'acide carbonique	0 12	—
L'eau de Vitré, dans un vase fermé	0 004	—
— dans un vase ouvert	0 007	—

De toutes ces expériences, je conclus que l'attaque du plomb par les eaux distillées résulte de l'action combinée des trois éléments : acide carbonique, oxygène et eau.

Action des azotates.

Pour déterminer leur action : dans une première série d'expériences j'ai mis au contact du plomb, dans les mêmes conditions que j'ai décrites précédemment pour l'eau distillée, des solutions d'azotate de potasse, de soude et d'ammoniaque à 0, 10, 1 et 10^{oo}/^{oo}.

Après 72 heures de contact dans le vide, je n'ai pu déceler dans ces diverses solutions que des traces insignifiantes de plomb, inférieures à 0 gr. 0001 par litre. Le liquide, traité par les réactifs des nitrates, n'indiquait que des traces inférieures à 0 gr. 0001.

Dans une seconde série d'expériences, j'ai fait pénétrer dans

le ballon de l'air débarrassé de toutes traces d'acide carbonique et j'ai prolongé le contact de la solution et du plomb pendant 12 heures. Au bout de ce temps j'ai constaté que le liquide recueilli ne contenait que des traces infinitésimales de plomb. La réaction des nitrates n'était pas beaucoup plus sensible. Enfin j'ai fait passer dans le ballon privé d'air un courant d'acide carbonique pur, dans les conditions que j'ai décrites précédemment. Au bout de 12 heures de contact le liquide contenait de 6 à 12 centigrammes de plomb par litre. La réaction des nitrites, effectuée immédiatement par le réactif de Trossdorff, indiquait la présence de 10 milligrammes de nitrite de potasse par litre. La même réaction, effectuée ensuite à des intervalles de quelques heures, diminuait rapidement d'intensité.

Je conclus de ces expériences qu'en présence de l'acide carbonique, le plomb réduit les nitrates en nitrites et forme de l'hydrocarbonate de plomb.

Un litre d'une solution d'azotate de potasse 1^{oo}/_{oo} a été porté à l'ébullition en présence d'une lame de plomb de 100^{cm}² de surface et maintenue pendant 30 minutes, puis le liquide a été séparé du métal; il contenait, après refroidissement, 12 centigrammes de sel de plomb précipité et 0gr.016 de nitrite de potasse. Le contact de la solution et du métal ayant été prolongé à l'abri de l'air dans le vide pendant 24 heures, la quantité de plomb en suspension était demeurée sensiblement égale à 0gr.12. En introduisant dans une solution d'azotate de potasse privée d'air par ébullition et séparée de l'atmosphère par une couche d'huile de vaseline une lame de plomb, j'ai constaté, après 24 heures de contact, qu'il n'y avait pas eu d'attaque sensible. L'hydrogène sulfuré colorait à peine le liquide réduit au 1/20^e, le réactif de Trossdorff réagissait faiblement.

Il résulte de ces expériences que les azotates isolés sont sans action sur le plomb, qu'ils agissent comme producteurs d'oxygène en présence de l'acide carbonique et jouent le même rôle que l'oxygène dissous dans l'eau. Dans les solutions aérées contenant de l'acide carbonique, ils réagissent sur le plomb concurremment avec l'oxygène dissous. La formation constante des nitrites dans les solutions aérées en est la preuve.

Action des sulfates.

J'ai mis en présence du plomb, dans le vide et dans les conditions que j'ai indiquées précédemment, des solutions à 0,10, 1, 10⁰⁰/₀₀ de sulfate de potasse, de soude, de magnésie; des solutions à 0,10, 0,50⁰⁰/₀₀ de sulfate de chaux. Après un séjour de 72 heures j'ai constaté que le liquide, réduit au 1/20^e, se colorait à peine en présence de l'hydrogène sulfuré et ne contenait par litre que des traces de plomb inférieures à 1/10^e de milligramme : le plomb demeurait brillant. Si l'on fait passer dans ces solutions un courant d'acide carbonique, on constate que le plomb se ternit lentement et, au bout de 6 heures de contact, la solution contient de 0 gr. 005 à 0 gr. 01 de plomb par litre suivant son degré de concentration; au bout de 24 heures 0 gr. 018 à 0 gr. 025. En agitant continuellement le liquide on augmente sensiblement la dose de plomb, qui peut atteindre 0 gr. 03 par litre au bout de 12 heures de contact. En traitant par l'acide sulfurique pur la liqueur plombique, on perçoit une odeur caractéristique d'acide sulfureux; des solutions d'iode et de permanganate de potasse sont décolorées. Si on prolonge le contact pendant plusieurs mois, on perçoit une odeur d'hydrogène sulfuré qui indique une réduction plus complète. Les solutions de sulfate de chaux se comportent de la même façon et se réduisent d'abord en sulfite, puis en sulfure; sous l'influence de l'acide carbonique de l'air, l'hydrogène sulfuré se dégage, il se forme du carbonate de chaux insoluble qui dépose sur la lame de plomb et la recouvre d'un enduit protecteur. En renouvelant tous les mois les solutions de sulfate de chaux, on constate qu'elles sont, malgré un séjour prolongé à l'air, sans action sur le plomb quand il est couvert d'un enduit.

Action des chlorures.

J'ai mis au contact du plomb à l'abri de l'air, dans les conditions que j'ai décrites, des solutions à 0,10, 1, 10⁰⁰/₀₀ des chlorures de potassium, de sodium, d'ammonium et de calcium. Après 72 heures de contact avec le plomb j'ai constaté que le métal était brillant et le liquide clair ne contenait, réduit au 1/20^e, que des traces infinitésimales de plomb, moins de 1/10^e de milligramme par litre. En faisant pénétrer dans le ballon par

aspiration une certaine quantité d'acide carbonique, en contact prolongé et agité avec une solution d'acide pyrogallique, je n'ai constaté qu'une augmentation insignifiante de la dose de plomb dissous dans le liquide qui contenait, après 24 heures, 0 gr. 0015 de plomb par litre.

Le passage d'un courant d'air ou d'oxygène pur amenait la formation lente d'un dépôt blanc sur le métal et la mise en dissolution d'une très faible quantité de plomb : 0 gr. 004 par litre. Si au contraire l'air ou l'oxygène étaient mélangés d'acide carbonique, le dépôt s'effectuait plus rapidement et avait un aspect amorphe; après 12 heures de contact, le liquide contenait environ 0 gr. 005 de plomb en solution par litre; après 24 heures de contact : 0 gr. 008 environ par litre et 0 gr. 02 d'hydrocarbonate en suspension. Le dépôt cristallin, formé sur le plomb en présence de l'oxygène seul, était très peu soluble dans l'eau privée d'acide carbonique, il contenait du chlore et se dédoublait sous l'influence de l'acide carbonique en hydrocarbonate insoluble et en chlorure de sodium, de potassium ou d'ammonium avec des traces de plomb.

Ce composé est donc un oxychlorure double analogue à ceux que l'on obtient en oxydant le plomb par l'eau oxygénée pure à froid, par l'acide azotique à chaud, en présence de solutions étendues de chlorhydrate d'ammoniaque ou de chlorure de potassium de sodium ou de calcium. J'ai obtenu ce sel en très minimes quantités par oxydation directe du plomb par un courant d'air pur privé d'acide carbonique par plusieurs lavages alcalins, en présence d'une solution à 10⁰⁰/100 de chlorure de sodium et, après 8 jours de contact, de un litre de solution avec 100^{cm2} de plomb neuf. Le sel recueilli se décomposait rapidement à l'air libre, il se conservait à l'abri de l'air en présence de certains liquides qui, comme l'alcool, ne dissolvent pas les sels de plomb.

Deux centigrammes de ce sel, mis en contact avec 500^{cc} d'eau pure très aérée, se décomposaient rapidement. J'ai dosé dans cette eau :

Plomb en suspension	0 ^{gr.} 004
Plomb en dissolution	0 002
Chlore	0 008
Na O, par différence.	0 006

Action combinée des chlorures et des azotales.

J'ai mis dans le vide une solution de chlorure de sodium et d'azotate de potasse contenant 1 gramme de ces sels pour un litre d'eau, en contact pendant 72 heures avec 100^{cm}² de plomb neuf; au bout de ce temps j'ai constaté que le plomb n'était pas terni et que le liquide ne contenait pas de plomb. Sous l'action d'un courant d'acide carbonique pur il se formait de l'hydrocarbonate de plomb pulvérulent; après 2 heures le liquide contenait 0 gr. 02 de plomb en suspension et 0 gr. 004 en dissolution. Dans ce cas, comme dans les précédents, les azotates agissaient comme producteurs d'oxygène, la réaction des nitrites correspondait à la formation de 0 gr. 004 de nitrite de potasse par litre.

Action des bromures et des iodures.

Les bromures et les iodures agissent comme les chlorures. Indifférents à l'abri de l'air, ils forment lentement en présence de l'oxygène et des corps oxydants des combinaisons avec le plomb, mais ils agissent très rapidement dès que l'on fait intervenir l'acide carbonique. J'ai mis au contact d'une lame de plomb neuf sous une couche de vaseline liquide une solution bouillie et refroidie d'iode de potassium à 1^{oo}/_{oo}; après 72 heures de contact le plomb était brillant. En faisant passer un courant d'oxygène pur j'ai obtenu, après 12 heures de contact, un *très léger* dépôt blanc. En faisant passer ensuite un courant d'acide carbonique et en prolongeant le contact pendant 12 heures, il s'est formé très rapidement à la surface du plomb des lamelles brillantes jaunes d'iode de plomb, entremêlées de cristaux blancs soyeux d'hydrocarbonate de plomb et de cristaux d'un jaune plus pâle d'oxyiodure de plomb. La couche de vaseline a pris une teinte violette accusant la présence de l'iode en liberté. Cet iode, en solution dans l'eau, se transforme en acide iodhydrique et au contact du métal en iodure de plomb. Cette coloration se produit très lentement. Si l'on met dans les mêmes conditions du chlorure de potassium en présence du plomb et qu'on ajoute après quelques jours de contact une solution d'iode de potassium, la production d'iode se fait rapidement et la vaseline prend une coloration violet intense.

Action des silicates alcalins.

J'ai trituré et mis en contact prolongé avec des fragments de granit de l'eau distillée très aérée. Au bout de quinze jours de contact, cette eau filtrée précipitait par le chlorure de baryum 0gr.025 de silicate par litre et donnait un résidu fixe de 0gr.035; elle avait une réaction franche alcaline. Mise en présence du plomb à l'abri de l'air dans les conditions indiquées précédemment, un litre d'eau se chargeait, après 72 heures de contact, de 0gr.004 de plomb, le métal était peu attaqué, le liquide clair. A l'air l'attaque était plus vive et se traduisait par un trouble dans la liqueur, après 24 heures de contact, le liquide contenait 0gr.02 d'*hydrocarbonate de plomb et du silicate de plomb en suspension*, le liquide filtré ne contenait plus que des traces de plomb dissous.

Action des carbonates alcalins.

Des solutions de carbonate de potasse de soude ou d'ammoniaque, mises à l'abri de l'air dans le vide en contact du plomb dans les conditions que nous avons indiquées précédemment, sont sans action sur lui. Il en est de même quand on fait passer un courant d'air privé d'acide carbonique ou même quand on laisse le liquide au contact de l'air, qui ne contient que des traces d'acide carbonique, celui-ci transforme le carbonate en bicarbonate et malgré son affinité pour le plomb, il semble retenu dans cette combinaison dont la stabilité dépend cependant de la température du liquide et de la pression atmosphérique. Après 24 heures de contact d'une solution de carbonate de potasse à 1⁰⁰/100 et d'une lame de plomb de 100 centimètres carrés dans un ballon à l'air libre, j'ai décelé 0gr.002 de plomb en suspension; le métal attaqué était légèrement terni. Après passage d'un fort courant d'acide carbonique, le liquide contenait, après 12 heures, 0gr.04 de plomb par litre.

Action du carbonate de chaux.

Le carbonate de chaux est un peu soluble dans l'eau privée d'acide carbonique : un litre d'eau pure en dissout à froid un peu plus de 3 centigrammes (0gr.036 par litre). Les eaux qui, comme l'eau de Vitré, en contiennent moins de 3 centigrammes, le

retiennent toujours en dissolution. Il se comporte donc vis-à-vis de l'acide carbonique et vis-à-vis du plomb comme les carbonates alcalins. Dans certaines eaux naturelles, au contraire, le carbonate de chaux n'est maintenu en dissolution que par l'action de l'acide carbonique. Cet acide, combiné avec le carbonate, facilite la dissolution de ce sel dans l'eau. Une solution saturée d'acide carbonique peut dissoudre à 0° 0gr.70 de carbonate de chaux et 0gr.88 à 10°.

L'acide carbonique que contiennent les eaux naturelles y est maintenu quelquefois sous une pression supérieure à celle de l'atmosphère; il en est de même dans les canalisations. Quand la diminution de pression provoque le dégagement d'une certaine quantité d'acide carbonique dissous, il se forme dans certaines eaux très calcaires un dépôt plus ou moins considérable de carbonate de chaux. Ce dépôt, effectué par certaines eaux sur les parois de leurs conduites, protège le métal contre l'attaque de l'eau. Dans les autres cas, l'acide carbonique qui maintient la chaux en dissolution, attaque lentement le plomb des conduites et le transforme en hydrocarbonate, qui se précipite, en même temps que le carbonate de chaux privé de son dissolvant; il se forme alors sur les parois un enduit calcaire qui contient une certaine quantité de plomb.

J'ai mis en contact du plomb à l'abri de l'air dans le vide, dans les conditions que j'ai indiquées précédemment, des solutions contenant 2, 5, 10 centigrammes de carbonate de chaux; l'ébullition précipitait la chaux des deux dernières solutions. Au bout de 72 heures de contact, je constatai que la solution contenant 0gr.02 de carbonate de chaux était claire et limpide et le plomb brillant; celles contenant 0gr.05 et 0gr.10 étaient troubles; le plomb était légèrement terni par un dépôt calcaire. Elles ne contenaient que des traces infinitésimales de plomb, inférieures à 0gr.0001 par litre.

Ces solutions, constituées avec de l'eau distillée bouillie agitée à l'air jusqu'à dissolution du carbonate de chaux, mises en contact avec le plomb dans un ballon rempli et bouché hermétiquement, se comportaient différemment. Après un séjour de 24 heures en présence de 100^{cm}² de plomb neuf, elles contenaient, par litre :

Solution à 0 gr.02 de carbonate de chaux, par litre . . .	0 gr.019 de plomb
Solution à 0 05 — . . .	0 008 —
Solution à 0 10 — . . .	0 003 —

Le plomb attaqué était recouvert d'un dépôt d'hydrocarbonate de plomb. La solution à 0 gr.10^{oo}/_{oo} avait déposé en outre une petite quantité de carbonate de chaux. En enfermant dans un tube en plomb de 20^m/_m de diamètre et de 1 m.50 de long des solutions de carbonate de chaux stables à l'air libre contenant 0 gr.10 par litre pendant des périodes successives de 24 à 36 heures, j'ai obtenu sur les parois un léger dépôt, peu adhérent, contenant pour 0 gr.02 : 0 gr.009 de plomb métal.

J'ai additionné l'eau de Vitré de 5, 8, 10 centigrammes de carbonate de chaux par litre, en provoquant la dissolution du sel par un contact prolongé et une agitation à l'air libre, et je l'ai mise au contact du plomb dans un tuyau neuf de 0 m.02 de diamètre et de 1 m.50 de long. Voici, après 24 heures de contact, les résultats obtenus :

Solution de 0 gr.05	plomb par litre	0 gr.008
Solution de 0 08	plomb —	0 005
Solution de 0 10	plomb —	traces

Action des matières organiques.

Le plomb se combine aux matières organiques pour former des combinaisons insolubles indécomposables par l'hydrogène sulfuré.

Des solutions d'urée à 0,10, 1 et 10^{oo}/_{oo} mises au contact du plomb pendant 72 heures, ne prennent pas, après évaporation au 1/20^e une coloration très sensible par l'hydrogène sulfuré, mais si l'on a détruit la matière organique, ou si l'on isole le plomb par électrolyse, on constate qu'une certaine quantité de plomb était en combinaison.

	Plomb par litre
Solution d'urée à 1 ^{oo} / _{oo} (analyse colorimétrique).	0.004
— — — — — par électrolyse.	0.01

Dans les eaux naturelles les matières organiques « collent » le plomb et le précipitent, mais elles fournissent aussi par décomposition des éléments d'attaque, des azotates, des sels ammoniacaux, de l'ammoniaque libre dont nous avons étudié l'action précédemment. En outre elles entretiennent la vie de certaines

bactéries oxydantes qui régénèrent les éléments d'attaque du plomb; l'ammoniaque, les nitrites, les sulfures sont transformés en nitrates ou en sulfates et recommencent leur action.

Les acides gras exercent également une action sur le plomb, mais ils sont en trop petite quantité dans les eaux pour jouer un rôle intéressant. Comme beaucoup d'autres éléments, cependant, ils doivent jouer un rôle d'amorçage.

Action du couple plomb-cuivre sur les eaux et les solutions artificielles.

Pour déterminer cette action j'ai mis dans les mêmes conditions que j'ai décrites précédemment des lames de plomb et de cuivre au contact des eaux naturelles et des solutions artificielles.

J'ai distingué pratiquement deux cas :

1° Les deux métaux sont immergés dans la solution;

2° Le plomb plonge en entier dans le liquide, mais les 2/3 du cuivre sont au contact de l'atmosphère.

Les résultats que j'ai obtenus sont exposés dans les tableaux ci-dessous :

1° Une lame de plomb présentant une surface de 100^{cm} 2, est réunie à une lame de cuivre de 80^{cm} 2 par une armature en caoutchouc, les deux lames plongent dans le liquide (500^{cm} 3 placé dans un ballon en verre) pendant 48 heures.

J'ai fait réagir des solutions aérées et des solutions privées d'air par ébullition dans le vide.

NATURE DES SOLUTIONS	ASPECT des MÉTAUX		Plomb en suspension	Plomb en dissolution	Cuivre
	PLOMB	CUIVRE			
Solution bouillie dans le vide d'azotate de potasse à 0.10 ‰	brillant	brillant	traces	traces	0
à 1 ‰	»	»	»	»	0
à 10 ‰	»	»	»	»	0
Solution bouillie de chlorure de sodium à 0.10 ‰	»	»	»	»	0
à 1 ‰	»	»	»	»	0
à 10 ‰	»	»	»	»	0
Solution aérée d'azotate de potasse à 0.10 ‰	terni	très léger, terni	0.015	»	traces
à 1 ‰	terni	»	0.017	»	»
à 10 ‰	terni	»	0.019	»	»
Solution aérée de chlorure de sodium à 0.10 ‰	terni	»	0.01	0.002	»
à 1 ‰	terni	»	0.009	0.002	»
à 10 ‰	terni	»	0.007	0.004	»

Même en présence du cuivre, l'attaque du plomb est presque nulle dans les solutions privées d'air. Elle n'est pas sensiblement plus active dans les solutions aérées quand les deux lames de plomb et de cuivre, immergées dans le même liquide, sont à la même température ;

2° L'attaque est au contraire plus rapide quand la lame de cuivre est en partie dans l'atmosphère ambiant et quand le plomb seul est complètement immergé.

Voici les résultats obtenus après 48 heures :

NATURE des SOLUTIONS	Plomb 100 cm 2	Cuivre 80 cm 2	Plomb en suspension	Plomb dissous	Cuivre
Eau de Vitré aérée	dépôt blanc	dépôt vert	0. 04	0.003	traces
Eau de Vitré + 0.05 $\text{C O}^3 \text{Ca}$.	»	»	0. 015	0.002	»
Eau de Vitré + 0.10 $\text{C O}^3 \text{Ca}$.	»	»	0. 02	0.002	»
Solution d'azotate de potasse 1 ⁰⁰ / ₀₀	»	»	0. 08	traces	»
Sol. de chlorure de sodium 1 ⁰ / ₀ .	»	»	0. 06	0.010	»
Solution de chlorure de sodium et d'azotate de potasse 1 ⁰ / ₀ .	»	»	0. 06	0.010	»
La même sol. + 0.10 $\text{C O}^3 \text{Ca}$.	»	»	0. 03	0.003	»

Les robinets exercent donc une action électro-chimique sur les solutions qui sont en contact avec eux et particulièrement sur les solutions chlorurées ; cette action devient réellement importante lorsque, par suite de l'aspiration, l'acide carbonique et l'oxygène se trouvent en grande quantité dans l'eau et favorisent les transformations secondaires.

Mécanisme de l'attaque du plomb par les eaux naturelles et en particulier par l'eau de Vitré.

Des expériences qui précèdent, je conclus :

1° Au point de vue de l'attaque du plomb, il existe trois groupes d'eau :

- a/ les eaux distillées (solutions de gaz) ;
- b/ les eaux contenant des sels divers en solution et moins de 0 gr. 03 de carbonate de chaux par litre d'eau ;
- c/ les eaux contenant plus de 3 centigrammes de carbonate de chaux par litre d'eau.

Les premières attaquent très rapidement le plomb et leur action ne s'épuise que par consommation des éléments d'attaque : oxygène et acide carbonique.

Les secondes ont une action très complexe, *elles agissent beaucoup plus lentement que les premières*, et bien que plusieurs éléments contribuent à la formation de l'hydrocarbonate de plomb, la production de ce sel est bien *moins rapide que dans le cas précédent*.

Les troisièmes et surtout celles qui contiennent des doses de chaux supérieures à 5 centigrammes sont presque sans action sur le plomb. L'acide carbonique étant retenu dans la combinaison calcique, agit très lentement et à mesure qu'il est utilisé la solubilité du carbonate de chaux diminuant, il se dépose sur les parois et forme un enduit isolant.

Avec ces eaux, on doit considérer comme dangereux : le détachement de l'enduit sous l'action mécanique d'un coup de bélier ; la mise en dissolution de l'enduit sous l'influence de l'acide carbonique de l'air, introduit en notables proportions par aspiration ; une action électrolytique au voisinage des robinets ou encore une infiltration qui amènerait des chlorures et des nitrates en notables proportions.

2° L'eau de Vitré se classe, ainsi que beaucoup d'autres de la région, dans la deuxième catégorie. Elle ne dépose pas d'enduit protecteur et contient plusieurs éléments qui réagissent sur le plomb :

I. $\left\{ \begin{array}{l} 1^{\circ} \text{ l'oxygène et l'acide carbonique} \\ 2^{\circ} \text{ les azotates et l'acide carbonique} \\ 3^{\circ} \text{ les chlorures, l'oxygène et l'acide carbonique} \end{array} \right. \begin{array}{l} \text{\{ donnent de l'hydro-} \\ \text{\{ carbonate de plomb ;} \\ \text{donnent de} \end{array}$
l'hydrocarbonate et des traces de chlorure de plomb.

L'acide carbonique dissous dans l'eau étant utilisé, les actions suivantes se produisent très lentement :

II. $\left\{ \begin{array}{l} \text{Les chlorures et l'oxygène forment des oxychlorures de plomb ;} \\ \text{Les chlorures et les azotates forment des oxychlorures doubles} \\ \text{et des nitrites alcalins.} \end{array} \right.$

Sous l'influence de l'acide carbonique ces réactions sont modifiées, l'oxychlorure dédoublé est transformé en hydrocarbonate et en chlorure ; une partie du plomb, en suspension dans l'eau sous forme d'hydrocarbonate, résulte de cette action de l'acide carbonique, les nitrites formés mesurent l'action oxydante des azotates ; les traces de chlorure de plomb proviennent de

l'action combinée des chlorures alcalins, de l'oxygène et de l'acide carbonique.

L'eau de Vitré, après un séjour de 12 heures dans des canalisations fermées, contient par litre à l'émission :

Plomb en suspension	0 gr.01
Plomb en dissolution	0 005
Nitrites	0 001

Quelques heures après :

Plomb en suspension	0 gr.013
Plomb en dissolution	0 002
Nitrites	traces

L'acide carbonique de l'air précipite une partie du plomb sous forme d'hydrocarbonate ; tandis que l'oxygène transforme les nitrites en nitrates.

La pénétration accidentelle de l'air dans les canalisations joue un rôle analogue, quand cet air pénètre dans l'eau, *il régénère les éléments d'attaque* et détruit les sels doubles, formés à l'abri de l'air.

La stagnation prolongée de l'eau dans les canalisations tend, au contraire, à la formation de ces sels doubles, à la production d'oxychlorures qui se dédoublent ensuite en chlorure soluble et en hydrocarbonate de plomb.

3° La présence dans l'eau des chlorures et des azotates ayant pour effet de diminuer l'intensité de l'action de l'acide carbonique et de l'oxygène, *il faut donc admettre que ces actions, plus lentes, s'exercent en concurrence ou en opposition avec celle-ci*. En examinant au microscope les dépôts d'oxychlorures doubles obtenus par l'action combinée d'un chlorure et de l'acide azotique en présence d'acide carbonique, j'ai constaté que les cristaux se désagrégaient assez lentement et qu'ils sont très peu solubles dans l'eau. Ces actions lentes des chlorures et des nitrates s'exercent également avec des eaux calcaires dont l'acide carbonique est stabilisé par la chaux. En effet, si on ajoute à une eau naturelle contenant par litre 8 à 10 centigrammes de chaux quelques centigrammes d'azotate de potasse et de chlorure de sodium, on constate qu'elle réagit sur le plomb.

Voici les résultats que j'ai obtenus avec l'eau P....., contenant 0 gr. 20 de nitrates, 0 gr. 60 de chlorure de sodium et 0 gr. 08 de chaux; après 12 heures de contact, elle contenait. Plomb par litre 0 gr. 006

Une solution de carbonate de chaux à 0,08 ^{oo}/_{oo}; 12 heures de contact 0 001

Une solution de carbonate de chaux à 0,15 ^{oo}/_{oo}; 12 heures de contact 0 0001

Les mêmes solutions, additionnées de 0 gr. 10 de nitrate; 12 heures de contact 0 gr. 004 et 0 002

Les mêmes solutions, additionnées de 0 gr. 10 de chlorure de sodium; 12 heures de contact. 0 gr. 003 et 0 002

Comme les nitrates et les chlorures sont *des produits de contamination dans la généralité des cas*, je me suis cru obligé de rechercher dans les eaux que j'ai étudiées le mécanisme de cette contamination et de faire quelques recherches bactériologiques. Il me paraît certain en effet qu'il faut attribuer à *la pénétration des purins* la présence intermittente du plomb que j'ai constatée dans certaines eaux de puits, élevées par des pompes à tuyaux de plomb.

III. — Action de l'eau plombée sur l'organisme.

Les eaux qui contiennent du plomb sont dangereuses quelle qu'en soit la dose; certains organes accumulent le poison et le restituent en masse. Dans certains cas, leur action peut longtemps passer inaperçue; elle ne se manifeste pas toujours par des coliques violentes et l'attention du médecin n'est pas mise en éveil par des symptômes aussi caractéristiques que ceux que l'on observe dans les cas de saturnisme professionnel.

Les accidents qui se sont produits à Vitré n'ont pas été immédiatement attribués au plomb et des médecins éminents, de Paris et de Rennes, ont méconnu les symptômes de l'empoisonnement saturnin à ses débuts. Ayant été gravement intoxiqué et ayant eu de nombreux cas dans mon entourage, j'ai pu faire quelques constatations intéressantes que je vais exposer brièvement.

Doses probables de plomb absorbées par les malades.

L'eau contenait, ainsi qu'on l'a vu précédemment, 10 centigrammes de plomb par litre après un séjour de 12 heures et au

bout de 2 heures elle en possédait déjà 5 milligrammes ; on peut donc admettre qu'une personne qui absorbe en moyenne 2 litres d'eau par jour introduisait de 6 à 8 milligrammes de plomb dans son organisme.

Comme vérification j'ai analysé l'eau prélevée sans précautions dans une famille ; à différentes reprises j'ai constaté que la dose susceptible d'être absorbée variait de 4 à 12 milligrammes par jour et par personne ; je me suis aussi assuré que dans certains cas particuliers, des malades avaient pu absorber plusieurs centigrammes de plomb par jour ; ceux, entre autres, qui absorbaient le matin la soupe ou le café préparés avec l'eau en contact pendant toute une nuit avec les tuyaux de plomb.

Observations clinico-chimiques.

Voici les observations matérielles que j'ai faites sur des personnes intoxiquées par le plomb :

Deux personnes qui consommaient de l'eau chargée de plomb avaient ressenties divers symptômes dont la cause n'avait pu être déterminée par plusieurs médecins. L'une de ces personnes pesait en 1898, avant d'absorber du plomb, 70 kilogrammes, en 1900, elle pesait 58 kilogrammes ; l'autre personne, soumise à l'action du plomb depuis 1898, pesait à la même époque 56 kilogrammes ; le poids correspondant à la taille de ces deux personnes est de 70 kilogrammes. Dès qu'elles eurent cessé d'absorber du plomb, les malaises qu'elles ressentaient disparurent et leur poids augmenta. L'une pèse aujourd'hui 72 et l'autre 75 kilogrammes.

Chez ces personnes et chez d'autres, j'ai constaté dans l'urine la présence du plomb à doses variant de 4 à 10 milligrammes par litre, correspondant à des quantités d'urée de 4, 6, 10 grammes par litre ; de 6, 9, 15 grammes par 24 heures.

J'ai effectué la numération des globules rouges du sang de trois personnes en 1900, 1902, 1904, 1908. Voici les résultats moyens que j'ai obtenus :

Années	A	B	C
1900	2 700 000	2 300 000	2 900 000
1902	3 200 000	3 000 000	3 600 000
1904	4 000 000	3 800 000	4 200 000
1908	4 500 000	4 200 000	4 600 000

Renseignements fournis par la statistique.

La mortalité dans la ville de Vitré fournit les renseignements suivants, pendant les trois années qui ont précédé l'empoisonnement, il y a eu :

1896	233	décès.
1897	205	—
1898	235	—
673 décès.		

Pendant les trois années où l'on a fait usage des tuyaux de plomb (1), il y a eu :

1899	273	décès.
1900	278	—
1901	273	—

824 décès, soit une augmentation de 151 décès sur les trois années précédentes.

Pendant les trois années qui ont suivi la suppression des canalisations, il y a eu :

1902	247	décès.
1903	236	—
1904	231	—

704 décès, 120 de moins que pendant les trois années précédentes (2).

La ville de Vitré compte 10.775 habitants, desquels il faut déduire une population comptée à part d'environ 2.000 hommes, à l'abri des empoisonnements saturnins et parmi laquelle il se produit annuellement de 4 à 6 décès. Il reste donc 8.775 habitants, comptés dans le recensement comme population véritable. Sur ce nombre, 2.500 environ sont de la campagne et ne consomment pas l'eau du service municipal. Celui-ci n'intéresse donc qu'une population urbaine de 5 à 6.000 âmes, dont la majeure partie consomme l'eau des bornes-fontaines.

Pendant la période de 1899 à 1901 inclus, il n'y a eu aucune

1 Ceux-ci, condamnés en janvier 1901, n'ont été définitivement remplacés dans les canalisations municipales qu'en janvier 1902.

2 J'ai choisi des périodes de trois années consécutives parce que la loi soumet à l'enquête sanitaire toutes les villes qui, pendant trois années consécutives, ont eu une mortalité supérieure à celle de la France.

épidémie, aucun changement dans la population ; dans la période qui suit, au contraire, en décembre 1902 et en janvier 1903, une épidémie de fièvre typhoïde, en ville et à la caserne, s'est traduite par 130 cas environ et a causé une vingtaine de décès.

A moins de nier absolument la valeur des renseignements fournis par la statistique, il faut admettre que l'usage de l'eau plombée a causé à Vitré, en trois ans, dans une population de 5 à 6.000 habitants et principalement parmi ceux qui s'alimentaient aux concessions particulières, une augmentation de 120 à 150 décès.

Du reste, les renseignements particuliers que j'ai recueillis dans l'exercice de ma profession confirment absolument les indications fournies par la statistique ; une enquête médicale aurait permis de déterminer les divers symptômes de l'empoisonnement saturnin (constipation, anémie, névroses, néphrites, paralysies diverses) chez un très grand nombre de personnes.

CHAPITRE III

COMPOSITION CHIMIQUE ET BACTÉRIOLOGIQUE DES DIFFÉRENTES EAUX DU BASSIN GÉOLOGIQUE BRETON LEUR ACTION SUR LE PLOMB

Classification des eaux d'alimentation.

- I. — EAU DES CITERNES : Action des embruns.
- II. — EAU DES COURS D'EAUX : Constitution géologique de la Bretagne. — Composition chimique des eaux recueillies à la surface du sol. — Analyse bactériologique.
- III. — EAU DES PUIITS : Composition chimique des eaux recueillies dans la profondeur du sol. — Caractéristiques bactériologiques.
- IV. — EAU DES SERVICES PUBLICS : Composition chimique. — Origine des sels dissous. — Variations dans la composition de l'eau de Vitré. — Rapport entre le poids du chlorure sécrété par les êtres vivants et celui qui est entraîné journellement par l'eau de Vitré. — ANALYSE BACTÉRIOLOGIQUE DE L'EAU DE VITRÉ : Numération des germes. — Recherches qualitatives. — Recherche du *Bacterium coli commune Escherich*. — Recherche des anaérobies. — Recherches bactériologiques sur d'autres eaux de la région.
- V. — ACTION DES DIFFÉRENTES EAUX ÉTUDIÉES CI-DESSUS SUR LE PLOMB. — Conclusions.

Classification des eaux d'alimentation.

L'eau d'alimentation est fournie aux particuliers :

- 1° Par des citernes;
- 2° Par des puits;
- 3° Par des cours d'eaux;
- 4° Par des services municipaux.

I. — Eau des citernes.

L'eau des citernes ne contient en général que des traces de sels minéraux provenant de l'atmosphère (nitrite et nitrate

d'ammoniaque) ou du lavage des toits (nitrites, nitrates, chlorures, sulfates, phosphates d'origine organique). Elle est quelquefois plus minéralisée lorsque les toits reçoivent des poussières abondantes, ou des pulvérisations d'eau salée (embruns).

Actions des embruns.

Ce phénomène se produit dans le voisinage immédiat de la mer. Sous l'influence de la marée et du vent l'eau de mer se pulvérise contre les rochers du rivage et la poussière est transportée à une certaine distance dans l'intérieur des terres; c'est ainsi, d'après M. Pierre (1) *qu'un hectare de terre recevrait annuellement par les pluies, dans les environs de Caen, 59 kilogrammes de chlorure dont 44 de sel marin, 23 kilogrammes de sulfates et 26 kilogrammes de chaux.* Un hectare de terre, recevant en moyenne 8.000 mètres cubes d'eau par an, la teneur de cette eau serait donc, par litre, de: 0.0073 de chlorures, 0.003 de sulfates et 0.003 de chaux. Ces chiffres ne peuvent s'appliquer à l'eau de mer pulvérisée et diluée puisque la proportion des sels est absolument différente. L'eau de mer contient en effet pour 17 parties de chlore 3 parties d'acide sulfurique, et 1/2 partie de chaux; il faut donc envisager l'apport des poussières et des sables fins que les vents entraînent et que les pluies précipitent sur le sol, ou celui des êtres vivants.

Afin de déterminer l'action des embruns non seulement sur les eaux des citernes mais sur les eaux de l'intérieur des terres recueillies dans le sol, j'ai institué des expériences à Rothéneuf près Paramé (Ille-et-Vilaine) et dans les environs, et à Vitré. J'ai recueilli à l'aide d'un entonnoir en verre dans des flacons neufs des eaux pluviales à diverses distances de la mer, à des moments particulièrement favorables à la production et au transport de l'embrun. Voici les résultats que j'ai obtenus :

A 50 mètres de la mer, à une altitude de 50 mètres, j'ai recueilli l'eau de nuées orageuses poussées par des tempêtes du nord-ouest; cette eau contenait en général du chlore; j'ai trouvé dans une expérience: chlore en Na Cl, 0 gr. 022 par litre; à 500 mètres; chlore en Na Cl, 0 gr. 007 par litre; à 2, 3, 4 et 6 kilomètres, je

1. Dictionnaire de Chimie pure et appliquée, par A. WURTZ; A. G. — *Eaux*, t. I^{er}, deuxième partie (C.-G.), p. 1202.

n'ai trouvé que très rarement des traces de chlore dans les eaux pluviales.

Les embruns n'ont d'action évidemment que sur les puits et citernes qui sont dans le voisinage immédiat de la mer; je n'ai jamais trouvé, en effet, dans les eaux pluviales recueillies à Vitré ou dans les environs que des traces infinitésimales de chlore, dues probablement à l'entraînement des poussières organiques. J'ai analysé l'eau de plusieurs citernes situées à Rothéneuf, à égale distance de la mer (75 mètres environ de la ligne du flot de Mars), j'ai dosé les chlorures et les nitrates. Voici mes résultats :

I.	Nitrates (en nitrate de potasse)	0 gr. 0005 p. litre.
	Chlorures (en chlorure de sodium).	0 060 —
II.	Nitrates (en nitrate de potasse)	0 gr. 005 p. litre.
	Chlorures (en chlorure de sodium)	0 050 —
III.	Nitrates (en nitrate de potasse)	0 gr. 002 p. litre.
	Chlorures (en chlorure de sodium)	0 040 —

L'eau d'un puits voisin, qui reçoit des eaux de lavage du sol, contenait : Chlorures 0gr.23 par litre.
Nitrates 0 12 —

J'ai pu, par comparaison, déterminer la part de l'embrun dans la minéralisation de l'eau du puits, qui recevait évidemment un supplément de chlorures fourni par les engrais marins et les fumiers producteurs de nitrates.

L'eau des citernes mêmes éloignées de la mer contient parfois des chlorures d'origine organique à doses considérables quand elles reçoivent des urines évacuées par les gouttières. Cette pratique assez fréquente explique mieux que les embruns la présence en quantité notable des chlorures dans certaines eaux, c'est pour ce motif que j'ai choisi avec le plus grand soin les citernes qui devaient servir à mes expériences.

Je conclus qu'à la distance de deux kilomètres les eaux des citernes ne subissent pas l'influence des embruns, mais cependant les eaux qui circulent dans le sol peuvent subir à une grande distance l'influence des engrais marins (marne, goémon, etc.), transportés à l'intérieur des terres; elles peuvent aussi se mélanger dans le sol aux eaux saumâtres des cours d'eau que la mer refoule assez loin dans l'intérieur au moment de la marée montante.

II. — Eau des cours d'eaux.

Constitution géologique de la Bretagne.

Dans l'Ille-et-Vilaine, à part les quelques formations crélacées et tertiaires des environs de Rennes, le sol est uniformément schisteux ; quelques alignements granitiques ouest-est existent cependant dans la partie nord du département. On rencontre au sud quelques régions marécageuses et tourbeuses sur un sous-sol argileux imperméable.

Le département des Côtes-du-Nord est presque en entier de formation granitique ou argilo-schisteuse et possède près de la mer quelques rares gisements de sables calcaires qui servent à l'amendement des terres voisines.

Dans le département du Morbihan les terrains sédimentaires (schistes et grès) de la partie nord sont coupés de petites émergences granitiques. Des roches éruptives, composées de gneiss, de schistes cristallisés et de granits sont alignées dans la partie sud, parallèlement à la côte.

Dans le département du Finistère toutes les saillies du sol sont granitiques, le fond des vallées est composé de roches sédimentaires et d'alluvions récentes ; le voisinage de la mer et les sinuosités du littoral font pénétrer dans l'intérieur les éléments d'origine marine.

Dans le département de la Loire-Inférieure où les hauteurs sont granitiques, les vallées argileuses ou schisteuses sont recouvertes en certains endroits de terrains plus récents. La vallée de la Loire et de ses affluents constitue une région toute spéciale, surtout dans le voisinage de la mer.

Composition chimique des eaux recueillies à la surface du sol.

Les eaux des cours d'eaux de la région bretonne contiennent en dissolution des traces de chaux et de magnésie, des traces de sulfates et de nitrates et des doses de chlore variables ; elles tiennent en suspension à certains moments des limons argileux qui se déposent sur les rives. Voici un tableau qui montre par comparaison la pauvreté de nos cours d'eaux bretons en sels de chaux et de magnésie, et qui permet de constater qu'ils reçoivent des minéraux d'origine organique en quantités relativement considérables :

ORIGINE DE L'EAU	MILLIGRAMMES PAR LITRE				
	Calcium	Magnésium	Chlore	Ac. sulfurique	Ac. nitrique
Ruisseau, forêt du Pertre (1). . .	3	1.5	18	traces	2
Etang voisin.	5	2.5	28	»	3
Vilaine, en amont de Vitré . .	10	2.5	30	»	4
Vilaine, en aval de Vitré. . .	10	3.8	42	»	8
Vilaine près Rennes, en aval .	15	6	46	»	10
Seiche, à Moutiers.	12	7	30	»	4
Minette, à Romagné.	6	1.5	22	»	2
Loysance près Saint-Germain .	9	2	26	»	1.5
Ruisseau près Quimper	11	traces	35.2	»	traces
Torrent de l'Isère (2).	2.4	1.8	7.2	3.4	»
Seine, amont de Paris	73.9	4.8	11	21.9	»
Loire, à Orléans.	19.2	1.7	4.3	2.3	»
Garonne, à Toulouse.	25.8	0.9	2.85	7.8	»
Rhône, à Genève	45.3	2.7	1.5	42.9	8.5
Rhône, à Tarascon	136.6	23.7	44	56.2	6.6
Aude, à Carcassonne	81.4	50	27.6		»
Tamise, à Greenwich	90.5	5.7	40.3	39.1	»
Etang de Prémontré (Aisne). .	116.8	18.3	20	6	»
Rhin, à Strasbourg	58.6	1.4	1.8	19.5	3.8

Analyse bactériologique.

Je n'ai examiné que des cours d'eau des environs immédiats de Vitré, des petits ruisseaux de la forêt du Pertre, la *Vilaine* en amont et en aval de Vitré et dans les environs de Saint-Aubin-des-Landes. Voici les résultats d'analyses qualitatives effectuées pendant l'été de l'année 1903 :

ORIGINE DE L'EAU	Bactéries pour un cent. cube
Eau d'un ruisseau (parcours complet en forêt)	150
Eau d'un ruisseau venant des fermes	2.800
Eau de l'étang du moulin du Bois	4.400
Eau de la <i>Vilaine</i> , en amont de Vitré (Pont-Billon).	15,000
Eau de la <i>Vilaine</i> , en aval de Vitré (au-dessous des Abattoirs). . .	50.000
Eau de la <i>Vilaine</i> , près de Pocé	6.000

Dans ces eaux, j'ai isolé par les méthodes générales :

Bacillus mesentericus albus Flugge,

— *subtillis* Zopf,

— *termo* Dujardin,

1 Analyses effectuées par moi-même.

2 WURTZ : *Dictionnaire de Chimie*; A. G. — *Eaux*, t. I^{er}, deuxième partie, p. 1201.

Bacillus fluorescens putidus Flugge :

Micrococcus ureæ Pasteur,

— *aquatilis* Bolton, et de nombreuses

bactéries liquéfiant très rapidement la gélatine.

Par ma méthode des bouillons phéniqués, dans l'eau de l'étang j'ai isolé du *Bacillus coli communis* dans la proportion de 3 fois sur 10 ; dans l'eau de la *Vilaine* dans la proportion de 4 fois sur 10 en amont et de 3 fois sur 10 en aval, où les eaux sont cependant plus polluées.

Dans certains cas les divers passages en bouillons phéniqués n'apportaient aucune sélection, plusieurs bactéries putrides et liquéfiantes vivaient en concurrence avec des bacilles résistants, un passage dans un bouillon phéniqué plus concentré conduisant à la disparition complète de toutes les espèces ou à la sélection du *Bacillus subtilis* ou du *Bacillus mesentericus albus*.

Des résultats que j'ai obtenus, je conclus que seuls les petits ruisseaux isolés dans les forêts, dans les bois ou dans les landes sont sur une partie de leur parcours à l'abri des contaminations, les autres reçoivent des eaux de surface contaminées, les rivières qui traversent les villes reçoivent des eaux résiduelles et peuvent infecter les puits qui sont malencontreusement creusés dans leur voisinage immédiat et en communication avec elles. C'est le cas de la *Vilaine* qui reçoit à Vitré sur un parcours de 1.200 mètres les eaux d'égout du cimetière par le moyen d'un fossé de 600 mètres, les eaux résiduelles d'une tannerie, les sécrétions diverses de l'hôpital, un ruisseau égout le Vernouzel, les eaux vannes de l'usine à gaz et les eaux résiduelles de l'abattoir ; en outre il existe de très nombreux lavoirs sur le même parcours. Cette rivière traverse la commune de Châteaubourg à 14 kilomètres de Vitré, en 1906, j'ai constaté à la suite de cas de typhoïde la très mauvaise qualité de certains puits peu éloignés de cette rivière. La *Vilaine* passe ensuite auprès de Servon, Acigné, Cesson et traverse la ville de Rennes où elle justifie pleinement son nom. Elle a joui de tout temps du reste, d'une détestable réputation et malgré le manque d'eau la ville de Rennes et les autres villes ont toujours envisagé avec répugnance son utilisation comme eau d'alimentation.

III. — Eau des puits.

Composition chimique des eaux recueillies dans la profondeur du sol.

J'ai constaté que toutes les eaux de puits éloignés des habitations ne contiennent que de très petites quantités de sels et de chaux empruntés au sol, tandis que les eaux de ceux qui sont dans le voisinage des fermes ou au milieu de terres cultivées renferment les éléments fournis par les purins et la chaux fournie par les murs des habitations. Voici les résultats de l'analyse de deux litres d'eau :

I. — Eau de puits isolé dans un terrain schisteux.	{	Nitrates (en nitrate de potasse)	0.008
		Nitrites	0.
		Ammoniaque	traces
		Matière organique oxydable en milieu acide en O	0.002
		— — — alcalin en O	0.0015
		Chaux	0.006
		Magnésie	0.003
		Alumine	0.005
		Fer	0.006
		Acide sulfurique	0.002
		Chlore	0.012
		Alcali	0.013
		Silice	0.008
II. — Eau d'un puits dans l'intérieur d'une ferme.	{	Nitrates	0. 10
		Nitrites	traces
		Ammoniaque	traces
		Matière organique en milieu acide en O	0.008
		— — — alcalin en O	0.006
		Chaux	0.080
		Magnésie	0.030
		Alumine	traces
		Fer	traces
		Acide sulfurique	0.020
		Chlore en Na Cl	0.030

Tous les puits que j'ai examinés dans les villes ou dans le voisinage des habitations présentent une composition analogue. J'ai trouvé plusieurs fois de 0 gr. 30 à 0 gr. 40 de nitrates et plus de 1 gramme de chlorure de sodium, et très souvent des doses considérables d'ammoniaque.

Caractéristiques bactériologiques.

L'analyse bactériologique d'un grand nombre de puits me permet d'apprécier la potabilité générale de la région. La consti-

tution du sol, imperméable et fissuré, le peu de profondeur des puits établis dans le voisinage des écuries, étables, fosses et mares à purins explique la pénétration des matières organiques. L'analyse chimique permet de déceler la présence des produits solubles, l'analyse bactériologique permet de déterminer la nature des contaminations. Les eaux de puits isolés dont la faible minéralisation a été signalée précédemment sont d'une pureté bactériologique variable, suivant que l'eau y séjourne plus ou moins longtemps. J'ai opéré un certain nombre de numérations qui peuvent se résumer dans le tableau suivant :

NATURE DE L'EAU	Bactéries par cent. cube
Puits isolé sur granit, V...	1.800
Traversé par un petit ruisseau, B...	1.200
Puits de ferme, E...	60.000
Puits dans le bourg de B...	40.000
Puits dans un jardin de Ch...	2.400

La séparation des bactéries par les méthodes générales et spéciales m'a permis d'identifier un certain nombre d'espèces, parmi lesquelles :

Bacillus subtilis ZOPF,

- *mesentericus vulgatus* FLÜGGE,
- *fluorescens liquefaciens* FLÜGGE,
- *fluorescens putidus* FLÜGGE,
- *coli communis* ESCHERICH,
- *erythrosporus* EIDAM, BOLTON,
- *amylobacter* TRÉCUL;

Micrococcus aquatilis BOLTON,

- *ureæ* PASTEUR,
- *aurantiacus* COHN,
- *luteus* COHN,
- *viscosus* PASTEUR;

Penicillium glaucum et moisissures diverses;

Levures diverses.

En dehors des méthodes générales de séparation, j'ai employé pour la recherche des bacilles du groupe coli, la méthode des bouillons phéniqués. Dans des eaux manifestement souillées par des purins la proportion des résultats positifs est de 40 pour 100.

Une même eau, examinée à différentes reprises, m'a donné des résultats positifs dans la proportion de moitié.

La méthode des bouillons phéniqués m'a conduit à l'isolement du *Bacillus subtilis* dans la proportion de 30 pour 100 et du *Bacillus mesentericus vulgaris* dans la proportion de 20 pour 100 ; deux ou trois fois seulement j'ai isolé des bacilles coliformes ayant les caractères de cultures du bacille d'Eberth mais n'ayant pas ses réactions physiologiques.

IV. — Eaux des services publics.

Ces services ont été installés dans le département d'Ille-et-Vilaine depuis une trentaine d'années afin de remédier à des inconvénients de toute sorte et surtout au manque d'eau. Dans les années de sécheresse, les faibles réserves d'un sol imperméable recueillies dans des puits peu profonds sont rapidement épuisées ; les habitants des campagnes sont obligés d'aller chercher très loin l'eau dont ils ont besoin pour eux et leurs bestiaux. Il en était de même autrefois dans les villes où quelques rares puits publics privilégiés recevaient l'eau de sources plus abondantes ; ces puits fournissaient de l'eau de très mauvaise qualité, on s'en apercevait surtout au moment où, par suite du manque d'eau, beaucoup de gens s'y approvisionnaient. Dans certaines villes, il n'y a pas longtemps encore, des porteurs transportaient l'eau nécessaire au lavage et à l'alimentation et faisaient naturellement payer très cher leurs services.

Composition chimique.

Depuis quelques années, les villes qui ont une certaine importance se sont efforcées de remédier à cet état de choses en amenant des eaux du dehors. Dans les rapports que j'ai lus sur l'adduction des eaux destinées aux villes de Rennes, Fougères, Saint-Malo, Vitré, etc., je n'ai pas vu qu'on ait envisagé d'une façon rationnelle le problème de l'alimentation en eau, on s'est contenté de rechercher des eaux plus pures que l'eau des puits ; des eaux contenant des doses évidemment plus faibles de nitrates, de chlorures, de phosphates et d'ammoniaque, mais aussi beaucoup plus pauvres en sels de chaux et de magnésie ; elles ne peuvent fournir à l'organisme qu'un faible appoint de calcaire.

Voici un tableau indiquant la composition moyenne par litre et en milligrammes des eaux de Rennes, Vitré, Pontorson, Fougères, Dol et Saint-Malo.

Origine de l'eau	Résidu 400-110	Sels anhydres	Perte au rouge	Acide sulfurique	Chlore	Silice	Chaux	Magnésie	Acide azotique	Auteur
Rennes . . .	71	66	5	4	18	12	12	6	3	FERRIER
Vitré	72	65	7	3	19	10	10	5	6	FERRIER
Pontorson . .	78	69	9	2	18	9	19	4	5	FERRIER
Fougères . . .	74	68	6	3	20	13	8	6	6	FERRIER
Dol	154	124	30	10.3	33	9	34.7	3.4	5.2	FERRIER
St-Malo . . .	198	173	25	16	40	19	30	16	30	FERRIER

On remarquera que les eaux de Pontorson, de Dol et de Saint-Malo qui sont au voisinage de la mer sont plus minéralisées que les eaux de l'intérieur ; cela tient aux engrais marneux que l'on utilise dans cette région.

Origine des sels dissous.

Un examen topographique et diverses analyses m'ont permis de résoudre cette question.

J'ai constaté sur le terrain qu'une fosse à purin, une mare et une fontaine étaient réunies par un fossé et que le trop-plein de la fontaine s'écoulait par un ruisseau qui circule sur les captations. J'ai prélevé de ces différentes eaux et j'ai effectué le dosage des principaux éléments. Les résultats sont réunis dans le tableau ci-dessous :

Nature des eaux	Chlore en chlorure de sodium	Nitrates en nitrate de potasse	Sulfates en sulfate de chaux	Ammoniaque	Chaux	Magnésie
Eau de la fosse à purin de R... (1 lit.)	0.60	0.15	0.10	0.20	0.06	0.025
Eau de la mare de R... (1 litre) . .	0.40	0.06	0.12	0.05	0.06	0.103
Eau de la fontaine de R... (1 litre).	0.20	0.034	0.06	0.005	0.02	0.007
Eau du ruisseau d. Moul. du Bois (1 lit).	0.05	0.006	0.008	0.0005	0.012	0.006
Eau de la captation (1 litre)	0.03	0.004	0.006	0.0005	0.006	0.005
Eau de la ville (1 litre)	0.03	0.003	0.004	traces	0.010	0.005
Eau de la ville (10 litres)	0.30	0.03	0.04	0.0005	0.10	0.05

Ces analyses ont été effectuées après une période de sécheresse à la suite d'une légère pluie. Dans la majeure partie des fermes il existe des dispositifs analogues, les eaux purineuses sont entraînées chaque jour par des rigoles vers des ruisseaux qui circulent sur les captations d'eau de Vitré, de Rennes et de

Fougères. Ces ruisseaux ne sont limpides que grâce à l'apport des eaux pluviales.

Variation dans la composition de l'eau de Vitré.

L'évacuation des produits solubles par les petits ruisseaux et les rigoles étant régulier et constant, les analyses constatent des variations insignifiantes sous l'influence des grandes pluies. Voici un tableau qui permet de s'en rendre compte :

DATES (1903)	Chlorure de Sodium	Nitrates	Nitrites	Ammoniaque	Divers
Février 23	0.025	0.006	traces	traces	»
» 24	0.020	0.003	»	»	»
» 25	0.035	0.002	tr. fortes	tr. fort. tr.	»
» 26	0.025	0.005	traces	traces	»
» 27	0.030	0.004	»	»	»
» 28	0.040	0.002	tr. fortes	0	»
Mars 1	0.025	0.006	»	0.00037	phosphates
» 2	0.040	0.005	traces	traces	»
» 3	0.032	0.003	»	»	»
» 4	0.032	0.0125	»	»	»
» 5	0.028	0.006	0.0004	tr. fortes	phosphates
» 6	0.026	0.003	0.0002	traces	
» 7	0.025	0.010	0.0003	»	
» 8	0.024	0.006	0.0002	tr. fortes	
» 9	0.023	0.005	0.0003	faibles tr.	
» 10	0.023	0.002	0.001	traces	
» 11	0.023	traces	0.001	»	
» 12	0.022	0.008	0.0006	»	
» 13	0.028	0.009	0.0006	»	
» 14	0.026	0.007	0.0006	»	
» 15	dimanche	—	—	—	
» 16	0.025	0.005	0.0005	traces	
» 17	—	—	—	—	
» 18	0.026	0.007	non dosé	non dosé	
» 19	—	—	—	—	
» 20	0.029	0.006	non dosé	non dosé	
» 21	0.026	»	»	»	
» 22	0.026	»	»	»	
» 23	0.026	»	»	»	
» 24	0.026	»	»	»	
» 25	0.028	0.0095	traces	»	
» 26	0.026	0.008	»	»	
» 27	0.026	non dosé	non dosé	»	
» 28	0.028	0.007	traces	»	
» 31	0.026	non dosé	non dosé	»	
Avril 2	0.031	0.004	traces	traces	
» 4	0.030	»	»	»	
» 6	0.026	0.0056	»	»	
» 7	0.024	non dosé	non dosé	non dosé	
» 17	0.030	»	»	»	
Juin 13	0.040	»	»	fortes tr.	
» 16	0.030	»	»	»	
» 18	0.032	»	»	»	
» 20	0.038	»	»	»	
» 21	0.028	»	»	traces	
» 22	0.022	»	»	»	
» 23	0.024	»	»	»	
» 24	0.025	»	»	non dosé	

Rapport entre le poids du chlorure sécrété par les êtres vivants et celui qui est entraîné journellement par l'eau de Vitré.

Pour déterminer l'origine des chlorures contenus dans l'eau de Vitré, après m'être rendu compte que les pluies n'en contenaient pas, j'ai recherché dans le sol géologique la présence de ces sels.

La lixiviation des grès, des schistes et des granits par des eaux acides ou alcalines, leur trituration, le contact prolongé ne m'ont donné que des résultats négatifs. J'ai constaté au contraire sur le terrain la relation étroite qui existait entre les mares et les fossés septiques des fermes, les ruisseaux et étangs, qui sur une longueur de plus de un kilomètre circulent sur la ligne des captations, séparés par une couche de terre de six à sept mètres d'épaisseur. J'ai évalué la production en chlorure de cette région et je l'ai comparée à la quantité entraînée par l'eau ; pour mon évaluation, j'ai recherché le nombre des êtres vivant sur les versants qui conduisent l'eau au voisinage des captations. Voici les renseignements que j'ai recueillis :

Désignation des villages	Hommes	Chevaux	Vaches	Pores
2 fermes.	13	4	11	variable
1 ferme	2	1	3	»
1 ferme	3	3	9	»
1 ferme	5	3	2	»
Maisons	5	1	4	»
2 fermes.	7	5	13	»
1 ferme	3	2	6	»
Agglomération	36	15	46	»
1 village.	8	»	1	»
Agglomération (maisons).	11	4	9	»
1 ferme	5	2	6	»
1 ferme	6	»	4	»
1 ferme	10	»	5	»
Maison	3	»	3	»
1 ferme	9	»	2	»
2 fermes.	9	4	9	»
1 ferme	3	2	6	»
1 village.	12	2	3	»
Agglomération	11	2	6	»
1 ferme	5	3	4	»
	176	53	167	50 (environ)

Les expériences et les analyses que j'ai effectuées m'ont permis d'évaluer à 20 grammes en chlorure de sodium la production journalière de l'homme en urine et en sécrétions diverses, cela fait pour 176 habitants 3 k. 520 ; à 60 grammes la production journalière du cheval, soit au total pour 53 chevaux : 3 k. 180 ; à 80 grammes la production journalière de chaque bête à corne, soit au total pour 167 vaches : 13 k. 360. Le porc se nourrit de tous les résidus de cuisine, du petit lait, des débris de viande, il fournit en moyenne 6 litres d'urine par jour contenant 8 grammes de chlorure de sodium, en plus un fumier abondant ; sa production journalière peut être évaluée à 40 grammes, soit au total pour 50 pores : 2 kilogrammes de chlorure de sodium. La production animale de cette contrée serait donc environ de 22 kilogrammes. Or, on évalue à 1.000 mètres cubes le débit théorique de l'eau distribuée à la population de Vitré ; sa teneur moyenne en chlorure étant de 0 gr. 25 par litre, c'est donc 25 kilogrammes de ce sel *au maximum* qu'elle amène chaque jour à Vitré.

Ces évaluations quoique approximatives sont cependant presque exactes, je me suis assuré en effet par ailleurs que la quantité de sel marin acheté par les habitants de cette région correspondait aux chiffres que j'avais obtenus par déduction ; j'ai recherché qu'elle était la quantité de chlorure importé dans cette région ; la consommation ordinaire d'une ferme est de 200 kilogrammes par an environ : le sel étant employé pour la soupe, pour la préparation des aliments et surtout pour la salaison des viandes (vache et porc) utilisées pour l'alimentation. Comme il existe dans la région des sources quarante agglomérations consommant et achetant annuellement 200 kilogrammes de sel, cela fait 8.000 kilogrammes par an. Or l'évaluation des sécrétions, à raison de 22 kilogrammes par jour, donne 8.030 kilogrammes. Ces chiffres correspondent à celui du chlorure entraîné.

Analyse bactériologique de l'eau de Vitré.

A plusieurs reprises, j'ai effectué des numérations de la manière suivante :

Prélèvement de 1^{re} d'eau diluée au 1/100^e dans eau distillée stérilisée : un litre. Lesensemencements *ont immédiatement suivi le prélèvement*,

Numération des germes.

J'aiensemencé 1/3 de centimètre cube de la dilution par plaque dans 10 plaques. Voici les résultats après 15 jours :

1 ^e Eau de ma cour	par cent. cube	{	1.500
			1.762
2 ^e Eau du laboratoire	— —	{	1.560
			1.800
			1.500
			1.450
3 ^e Eau de la borne-fontaine B... .	— —	{	1.550
			1.500
			1.500

Recherches qualitatives.

Après la numération je conservais les plaques non liquéfiées pendant 30 jours; dans une dizaine de ces plaques j'ai recueilli des cultures, j'ai pu identifier une fois le *Bacillus coli communis*. J'ai reconnu et identifié aussi :

Bacillus subtilis, *Bacillus mesentéricus*, *Micrococcus ureæ*, *Micrococcus aquatilis*.

J'ai isolé en outre un bacille ayant les caractéristiques suivantes :

Diplococcus ayant les dimensions et la forme du *Pneumococcus* de Talamon et Frankel, aérobie très mobile, liquéfiant très rapidement la gélatine, prenant le Gram; cultures discrètes sur pomme de terre; résistant aux milieux phéniqués; virulent pour le lapin et la tourterelle, sans action sur les sucres. J'ai trouvé ce microbe dans la fosse à purin de R.... et dans l'eau de Vitré.

Recherche du Bacterium coli commune Escherich.

J'ai recherché aussi un grand nombre de fois le *Bacillus* d'Eberth et le *Bacterium coli* d'Escherich par la méthode des bouillons phéniqués. J'ai effectué environ trente recherches à des moments que j'estimais favorables.

Par la méthode des bouillons phéniqués, j'ai isolé dix fois des bacilles ayant les caractères morphologiques et biologiques du *Bacterium coli*, dix fois du *Bacillus subtilis* et cinq fois des

bâtonnets ou des cocco-bacilles liquéfiant la gélatine : j'ai eu cinq résultats douteux ou indéterminés. Enfin, dans deux cas, au cours d'une épidémie de fièvre typhoïde, j'ai eu des bacilles se rapprochant par leur aspect dans les cultures du *Bacillus* d'Eberth-Gaffky mais s'agglutinant faiblement en présence du sang des malades.

Les résultats sont résumés dans le tableau suivant :

Dates	Origine de l'eau	Nombre de prélèvements	Résultats positifs
1902, 21 novembre	Robinet de ma cour	2	2
» 25 »	»	1	1
» 30 »	»	3	1
» 5 décembre	»	3	0
» 15 »	»	1	1
1903, 5 janvier	Borne-fontaine	3	1
» 10 »	»	3	2
» 15 »	Borne-fontaine	3	1
» 10 mars	»	1	0
» 15 avril	»	2	0
» 25 »	»	3	1
» 12 mai	»	2	0
» 20 »	»	2	0
» 10 juillet	»	<u>2</u>	<u>0</u>
En 14 jours . . }	Total des prélèvements.	31	
	Nombre des résultats positifs		10

Depuis j'ai effectué la recherche du colibacille dans le dépôt effectué sur la bougie Chamberland en fonction dans mon laboratoire. Je l'ai isolé deux fois sur quinze dans l'espace de quatre ans : au moment des pluies abondantes, après de longues périodes de sécheresse.

Recherche des anaérobies.

J'ai recherché aussi les anaérobies dans l'eau et dans les vases ; après avoir employé le gaz hydrogène comme milieu isolant j'ai utilisé le gaz des marais pur, obtenu par décomposition de l'acétate de soude. Des plaques, placées sous une cloche renfermant ce gaz, m'ont permis des numérations bien incomplètes. Une dilution à 1/20^e me donnait quelques colonies très irrégulièrement distribuées et une moyenne de 10 à 30 germes par

centimètre cube d'eau. Certaines boues ne contenaient pas de spores anaérobies, d'autres en contenaient au contraire un très grand nombre.

J'ai recherché particulièrement certaines espèces parmi lesquelles le *Sporogenes enterides* de Klein et Dechan, par la méthode indiquée par Causse dans son *Précis d'Hydrologie* (1). Des tubes stérilisés à 150° et remplis de lait frais, étant maintenus dans un bain d'eau bouillante pendant un certain temps, j'introduis une certaine quantité du dépôt d'une bougie Chamberland, je les porte ensuite pendant une demi-heure dans un bain-marie à 85-88° et je les abandonne à l'étuve à 37°. J'ai isolé par ce moyen, outre le *Sporogenes enterides*, plusieurs espèces ayant des formes intermédiaires entre le *Bacillus anthracis* et le *Bacillus subtilis*, et très souvent la forme typique du *Vibrion septique* ; la couche de crème de lait et l'ébullition ayant constitué un milieu anaérobie ?

Ces espèces étaient identiques dans certains cas à celles que j'obtenais après ensemencement après cinq minutes d'ébullition de 1^{re} d'eau en bouillon sous une couche d'huile de vaseline.

Recherches bactériologiques sur d'autres eaux de la région.

Mes recherches bactériologiques sur les eaux des autres villes me permettent d'affirmer :

1° Qu'elles donnent des résultats quantitatifs analogues à ceux que fournit l'eau de Vitré. Elles contiennent de 100 à 1.500 bactéries au centimètre cube ;

2° Qu'en opérant sur des masses d'eau relativement considérables on peut mettre en évidence le *Bactérium coli* dans les mêmes proportions que dans l'eau de Vitré.

Ces eaux sont en effet captées par les mêmes procédés dans des terrains presque identiques au point de vue géologique et topographique. La population est de même densité dans la région des sources et le « tout au fumier » est aussi largement pratiqué. On peut donc affirmer que la *pureté chimique et bactériologique* de toutes ces eaux est apparente puisqu'elle résulte de la *dilution constante et régulière* d'une petite quantité de purin et d'engrais

1 CAUSSE : *Précis d'Hydrologie* ; Paris, F. R. de Rudeval, p. 194.

dans une grande masse d'eau de pluies. Les germes contagieux sont disséminés dans une masse d'eau considérable et très irrégulièrement; il est donc nécessaire, pour les mettre en évidence, de prélever une grande quantité d'eau et de multiplier les prélèvements.

V. — Action des différentes eaux étudiées ci-dessus sur le plomb.

J'ai mis en contact avec le plomb neuf, pendant 18 heures, dans des tuyaux de 2 m. 50 de long et de 20 millimètres de diamètre les eaux suivantes; voici les résultats :

Nature de l'eau	Plomb-métal par litre	Nature de l'eau	Plomb-métal par litre
Eau de Rennes	0 gr. 008	Eau de Vitré	0 gr. 018
Eau de Fougères	0 006	Eau de la <i>Vilaine</i> , à Vitré . . .	0 015
Eau de Pontorson	0 010	Eau de la <i>Seiche</i>	0 012
Eau de Saint-Malo	0 004	Eau de puits contenant 0.08 de Ca O	0 004
Eau de Cherbourg	0 012	Eau de puits de ferme C	0 006

En *plus* de ces expériences j'ai constaté la présence du plomb à différentes reprises dans l'eau de Rennes et de Fougères.

L'eau de Rennes ayant séjourné pendant la nuit dans les tuyaux contenait des doses variant de 0 gr. 003 à 0 gr. 007.

L'eau de Fougères de 0 gr. 002 à 0 gr. 008.

Quand l'eau contenait du *fer*, elle contenait en général peu de *plomb*; l'acide carbonique, l'oxygène et les autres éléments ayant été utilisés dans cette première action, l'eau ne réagissait plus que faiblement sur le plomb.

Conclusions

La présence du plomb à faibles doses dans des eaux livrées à la consommation ne se manifeste pas toujours par les symptômes classiques et caractéristiques de l'empoisonnement saturnin aigu. Les accidents saturnins de Vitré n'ont été constatés que lorsqu'ils sévissaient avec une véritable intensité et sur des malades présentant tous les symptômes classiques. A Fougères et à Rennes l'attention des médecins, à la suite du cas de Vitré, s'est portée sur ce point particulier et quelques cas ont été constatés.

Depuis cette époque, bien que ces villes n'aient point modifié

leurs canalisations, je n'ai pas eu connaissance de déclarations officielles se rapportant à cette maladie.

J'estime cependant que la présence constante du plomb à doses pondérables dans des *eaux* d'alimentation ne peut être sans inconvénient pour l'organisme et que pour confirmer *l'enquête chimique que j'ai instituée* il conviendrait de la compléter par une enquête médicale des plus sérieuses qui permettrait de constater scientifiquement les MÉFAITS DU PLOMB.

CHAPITRE IV

CANALISATION DES EAUX QUI RÉAGISSENT SUR LE PLOMB

- I. — REMPLACEMENT DES TUYAUX DE PLOMB PAR D'AUTRES CANALISATIONS MÉTALLIQUES : Emploi des tuyaux de fonte ou de fer coaltarés. — Action de l'eau sur le fer et sur la fonte. — Recherche et dosage du fer dans l'eau des canalisations. — Dosage des gaz en dissolution dans l'eau en contact avec le fer dans une canalisation fermée. — Cas particuliers. — Mécanisme de l'attaque. — Inconvénients qui en résultent. — Emploi des tuyaux d'étain pur. — Emploi des tuyaux de plomb étamés, sulfurisés ou doublés d'étain. — Emploi des tuyaux de fer émaillé ou doublé de verre. — Emploi de tuyaux de compositions variées. — Conclusions.
- II. — TRAITEMENT DE L'EAU PAR LA CHAUX : Efficacité de cette action pour la protection des tuyaux. — Stérilisation partielle ou totale de l'eau. — Amélioration de l'eau au point de vue de son rôle dans l'alimentation. — Nécessité de cette correction. — Observations et expériences. — Apport de l'eau dans la minéralisation de certains aliments. — Renseignements sanitaires. — Conclusions.

I. — Remplacement des tuyaux de plomb par d'autres canalisations métalliques.

Emploi des tuyaux de fonte ou de fer coaltarés.

Pour remplacer les tuyaux de plomb condamnés par les conseils d'hygiène, la ville de Vitré a utilisé le fer ou la fonte coaltarés.

MM. Pouchet (1) et Lechartier (2) avaient déclaré en effet que l'usage de ce métal était sans inconvénient pour la santé. M. Lechartier prévoyait cependant une réaction de l'eau sur les tuyaux

1 Lettre à la municipalité de Vitré.

2 Rapport au Comité central d'Hygiène du département d'Ille-et-Vilaine.

mais il indiquait qu'il suffirait de faire écouler l'eau rouillée pour recueillir de l'eau de bonne qualité. Ces tuyaux sont en usage depuis cinq ans, j'ai pu étudier leur fonctionnement en différents points de la ville.

Action de l'eau sur le fer et sur la fonte.

On doit distinguer pratiquement l'action de l'eau sur la fonte de celle sur le fer étiré. La fonte semble résister beaucoup mieux que le fer à l'attaque de l'eau, il est vrai que les tuyaux sont de plus gros diamètre et qu'ils ne subissent pas dans les canalisations principales les aérations accidentelles et les ébranlements que supportent les tuyaux de fer dans les canalisations particulières. Je dois même ajouter que dans certaines parties où l'écoulement est peu rapide, les tuyaux sont protégés, dans une certaine mesure, par un limon argileux suffisamment adhérent.

Quant aux tuyaux de fer coaltarés des canalisations particulières, dès que l'eau a perdu son goût désagréable de goudron, au bout d'un mois environ, ils sont attaqués d'une façon très active par l'eau aérée au repos ou en charge. Cette action est doublée et même triplée par les rentrées d'air; j'ai expliqué dans un chapitre précédent que ces rentrées résultaient de la pente énorme de la canalisation principale et du mauvais calibrage des tuyaux. Ces rentrées se produisent très fréquemment et si elles ne sont pas toujours indiquées par des coups de bélier elles n'en sont pas moins actives. L'eau contient souvent des bulles d'air en suspension, on peut s'en assurer par un prélèvement immédiat après ébranlement de la conduite, au bout de quelques heures elle contient des doses considérables de fer en suspension et en dissolution. C'est pour cela que les premiers litres d'eau recueillis sont généralement plus chargés de fer que les suivants et qu'ils présentent surtout cet aspect rouillé qui permettrait, suivant M. Lechartier, d'éliminer toute l'eau ferrugineuse.

Recherche et dosage du fer dans l'eau des canalisations.

Afin de déterminer très exactement l'action de l'eau de Vitre sur les canalisations de fer décoaltarées très rapidement, j'ai effectué quelques dosages dans l'eau des bornes-fontaines et dans l'eau des concessions particulières. Voici mes résultats :

Nature de l'eau	Séjour	Quantité prélevée	Contenant au total	
			Fer en suspension	Fer dissous
Concessions A	8 heures	4 litres	0 gr. 06	0 gr. 03
» B	8 »	4 »	0 07	0 035
» C	8 »	4 »	0 054	0 028
Borne B	2 »	2 »	0 01	0 006
» C	6 »	2 »	0 03	0 012
Concession A	8 »	1 »	0 05	0 006
» A	8 »	10 »	0 08	0 004
» A	2 »	10 fois 10 litres . . }	0 gr. 15	0 45

Le fer, au maximum d'oxydation, se trouve en suspension dans les premiers litres seulement; voici la composition de 10 litres tirés après un séjour de 8 heures :

Nature de l'eau	Séjour dans les tuyaux	Par litre	
		Fer en suspension	Fer dissous
1 ^{re} litre	8 heures	0 gr. 04	0 gr. 006
2 ^e —	»	0 008	0 008
3 ^e —	»	0 006	0 009
4 ^e —	»	0 004	0 009
5 ^e —	»	traces	0 009
6 ^e —	»	0	0 009
7 ^e —	»	0	0 009
8 ^e —	»	0	0 009
9 ^e —	»	0	0 009
10 ^e —	»	0	0 008

Ces analyses doivent être exécutées aussitôt après l'émission car l'oxygène et l'acide carbonique de l'air interviennent pour précipiter le fer, si bien que des eaux limpides deviennent bientôt troubles et déposent dans les vases au contact de l'air.

*Dosage des gaz en dissolution dans l'eau
en contact avec le fer dans une canalisation fermée.*

Dans les tuyaux de fer hermétiquement clos, l'oxygène et l'acide carbonique que contient l'eau sont rapidement utilisés. Des analyses m'ont permis de m'en rendre compte; les résultats sont exprimés dans le tableau suivant :

Nature de l'eau	Par litre	
	Oxygène en poids	Fer en poids
Eau courante.	11 mgr. 25	traces
Eau après 3 heures de contact.	8 75	0 gr. 005
— 12 —	3 75	0 014
— 24 —	0	0 02

La composition gazeuze initiale de l'eau est très variable : elle dépend de la nature des pluies. Les eaux, en effet, empruntent à l'atmosphère les gaz qu'elles contiennent et comme elles proviennent à Vitré de la forêt du Pertre, les pluies nocturnes sont plus chargées d'acide carbonique, que les arbres et les plantes expirent en quantités relativement considérables.

Les pluies du jour traversent au contraire une atmosphère plus chargée d'oxygène. La quantité d'acide carbonique que contient l'eau de pluie dans ces régions varie de 4 à 15^{cm} 3 par litre (1).

Cas particuliers.

Dans les appartements, l'atmosphère reçoit de l'acide carbonique de la respiration et de la combustion; la rentrée de l'air dans les tuyaux introduit de notables quantités de ce gaz, ainsi que j'ai pu le vérifier. Voici mes résultats :

Nature de l'eau	Par litre		
	Azote	Oxygène	Acide carbonique
Eau recueillie après rentrée de l'air d'un appartement où se fait la fabrication de l'eau de Seltz par l'acide carbonique liquide	14 ^{cc}	15 ^{cc}	15 ^{cc}
Eau recueillie à la sortie d'un filtre Chamberland dans l'appartement voisin	14	24	7 8
Eau de l'appartement où se fabrique l'eau de Seltz, contenant 0 gr. 025 de fer en dissolution, recueillie sous une couche d'huile de vaseline et analysée aussitôt	17	0 5	14
Eau recueillie dans l'appartement de fabrication d'eau de Seltz (fer dissous: 0 gr. 015).	18 7	5	20
Eau d'un robinet en service continuél dans une cour.	12	11	11 3
Eau filtrée à la sortie d'un filtre.	17	9	13 5
La même après une aspiration dans les tuyaux	18	12	10
Eau de pluie recueillie dans ma cour	16	10	3

1 Des fours à chaux, dans un rayon de 6 à 7 kilomètres, déversent également dans l'atmosphère une certaine quantité de gaz carbonique.

J'ai déterminé par une prise immédiate la quantité de gaz que peut introduire une aspiration des tuyaux. Voici les résultats que m'a donné l'eau contenant de très nombreuses bulles de gaz :

Azote	140 ^{cc} par litre.
Oxygène.	50 —
Acide carbonique.	15 —

L'azote insoluble était en suspension dans le liquide, complètement trouble à l'émission. Il convient, à ce sujet, de remarquer que l'oxygène et l'azote sont très peu solubles dans l'eau (50^{cc} d'oxygène par litre, 24^{cc} d'azote) tandis que l'acide carbonique, au contraire, est très soluble.

Mécanisme de l'attaque.

En présence de l'eau distillée désaérée dans des conditions expérimentales que j'ai déjà décrites, j'ai constaté que le fer n'était pas sensiblement attaqué : il en est de même dans l'air sec. Pour qu'il y ait attaque il faut faire intervenir *l'oxygène, l'acide carbonique et l'eau.*

L'eau distillée aérée et saturée d'acide carbonique dissout le fer en notable proportion : un litre d'eau à 24° peut contenir 0 gr. 98 de carbonate ferreux, à 20° 1 gr. 142, à 15° 1 gr. 390. La présence des chlorures et des sulfates augmente la stabilité de ces solutions à l'air (1).

Les eaux de fontaine, contenant de la chaux, agissent différemment ; l'acide carbonique, en petite quantité, au lieu de faciliter la dissolution du fer, amène sa précipitation à l'état d'hydrocarbonate. Les chlorures alcalins tendent à faciliter également la formation de la rouille. Ce phénomène s'accélère du reste de lui-même, l'oxyde et le fer formant un couple voltaïque qui augmente l'intensité de l'attaque.

Inconvénients qui en résultent.

J'ai établi que 100 litres d'eau prélevés par fraction de 10 litres toutes les deux heures, peuvent entraîner dans une journée environ 0 gr. 60 de fer, soit pour un million de litres, 6 kilogrammes par jour. Ce chiffre représente approximativement l'usure de la

canalisation : il correspond à 6 milligrammes de fer par litre d'eau et à 2.200 kilogrammes environ par an.

Cette attaque se produit surtout aux endroits où le fer se raccorde avec la fonte, le cuivre ou le plomb ; elle peut provoquer des fissures ou des ruptures de conduites. Les fissures, même les plus petites, qui ne se manifestent pas par une perte d'eau, peuvent entraîner dans la canalisation par suite des aspirations fréquentes et importantes que l'écoulement de l'eau provoque en certains points les liquides septiques du sol ; d'autre part, les bouchons ferrugineux qui obstruent les conduites servent de support végétatif à certaines bactéries.

A ces inconvénients s'ajoutent ceux qui résultent de la composition de l'eau. On ne peut recommander à tout le monde l'usage d'une eau contenant 1 à 2 centigrammes de fer par litre ; dans certains cas le fer est formellement proscrit, on sait qu'il provoque des constipations opiniâtres et des hémorragies ; de plus l'usage d'une eau désaérée peut avoir certains inconvénients. J'ai montré que l'eau perdait assez rapidement son oxygène ; j'ai indiqué également qu'après l'émission l'eau contenait du fer au minimum qui s'oxydait lentement à l'air libre en absorbant l'oxygène de l'air. L'aération de l'eau se fait lentement, l'oxydation du fer utilise les gaz pendant un temps assez long. J'ajoute que pendant un certain temps, dans les tuyaux, il existe un milieu anaérobie favorable à la sélection de certains germes dangereux (1).

Ces inconvénients me semblent suffisants pour justifier la suppression des canalisations de fer étiré, ils ont conduit, dans certaines villes, à la suppression des canalisations principales en fonte et à leur remplacement par des tuyaux de grès. M. Belgrand en cite plusieurs exemples dans son rapport sur les eaux de Rennes en 1873 et entre autres villes, Cherbourg et Grenoble.

Tout le monde peut constater à Vitré que l'eau qui s'écoule des grosses canalisations de fonte par des orifices de vidange est trouble et dépose de l'hydrocarbonate de fer en quantité vraiment considérable. D'autre part, j'ai constaté l'usure des tuyaux de fer

1 Ces variations dans la gazéification de l'eau favorisent surtout la sélection des *anaérobies facultatifs* ; les anaérobies stricts se développent en effet dans l'eau désaérée mais ils disparaissent ou prennent une *forme de résistance* quand on abandonne l'eau au contact de l'air.

dans des canalisations particulières et la formation de bouchons qui s'opposent, dans certains cas, à l'écoulement de l'eau.

Je me suis préoccupé de rechercher pour moi-même un mode de canalisation à l'abri de tout reproche et tout d'abord des tuyaux inattaquables par l'eau.

Emploi des tuyaux d'étain pur.

J'ai utilisé dans mon laboratoire un tuyau d'étain pur, je l'ai relié directement à une grosse canalisation en fonte qui est peu attaquée par suite de sa position horizontale et de son gros calibre. L'eau que fournit cette canalisation est consommée après passage à travers une bougie filtrante; j'obtiens par ce moyen une eau très claire et très limpide et dont j'ai vérifié à plusieurs reprises la stérilité.

Cet exemple a été suivi par un certain nombre de personnes mais il faut avouer qu'il ne résoud pas la question générale et qu'il ne supprime qu'une partie des inconvénients que j'ai signalés.

Emploi des tuyaux de plomb, étamés, sulfurisés ou doublés d'étain.

L'étamage des tuyaux de plomb, ainsi que je l'ai vérifié, ne protège nullement ceux-ci contre l'attaque des eaux peu minéralisées; l'alliage de plomb-étain est, au contraire, très rapidement attaqué et éliminé.

Les tuyaux sulfurisés sont, eux aussi, attaqués par les eaux pures, le sulfure se transforme en sulfate relativement soluble et est rapidement éliminé. L'étamage et la sulfuration peuvent cependant protéger utilement le plomb contre l'attaque de certaines eaux calcaires. Quant aux tuyaux doublés d'étain ils sont d'un prix relativement élevé et n'offrent pas une résistance suffisante aux chocs en retour. L'attaque du plomb serait activée aux points de rupture par le contact des deux métaux.

Emploi des tuyaux de fer émaillé ou doublé de verre.

On a vu, d'autre part, que les tuyaux de fer sont insuffisamment protégés par la coaltarisation; d'autres procédés ont été préconisés, tels que l'émaillage et le doublage par des tubes de verre.

Ces revêtements sont trop fragiles pour résister aux « coups de béliet »; la présence dans l'eau de débris d'émail ou de particules de verre pourrait du reste causer de graves accidents.

Emploi de tuyaux de compositions variées.

On trouve dans le commerce des tuyaux dont la composition exacte ne m'est pas connue mais qui contiennent une énorme quantité de plomb. J'ai eu l'occasion de rechercher dans plusieurs cas si ces alliages étaient attaqués par l'eau de Vitré. Après 12 heures de contact dans des tuyaux hermétiquement clos, l'eau contenait, dans un des cas, 0 gr. 012 de plomb-métal par litre; dans les mêmes conditions l'eau de Vitré, mise en contact avec des tuyaux de plomb ordinaires, entraînait 0 gr. 010 à 0 gr. 012 de plomb. Il est à présumer que tous les tuyaux similaires, dont la malléabilité indique la prédominance du plomb, sont également attaqués par les eaux pures; des alliages de plomb-étain ne pourraient être à l'abri de tout reproche, ainsi que je l'ai vérifié, que s'ils contenaient des quantités de plomb inférieures à 25 %. Leur prix de revient serait sensiblement égal à celui des tuyaux d'étain pur et ils seraient, dans bien des cas, livrés à leur place. On a utilisé aussi des tuyaux de cuivre étamés: ces tuyaux servent pour l'élévation de l'eau dans les pompes, mais leur peu d'épaisseur les rend incapables de supporter les fortes pressions, ils seraient d'un prix de revient considérable; du reste ils sont attaqués très rapidement par l'eau dès qu'il se produit la moindre fissure dans l'étamage ainsi que j'ai pu m'en rendre compte dans différentes occasions; j'ai constaté aussi que dans certains cas les étamages étaient chargés de plomb.

Conclusions.

Il résulte de ces constatations et de ces expériences que les eaux peu minéralisées exercent une action sur les métaux vulgaires qui pourraient être utilisés pour leur conduite, et qu'il n'existe aucun procédé pratique et efficace pour mettre ces métaux à l'abri de leur attaque. Comme on ne saurait, en raison de son prix de revient considérable, généraliser l'emploi de l'étain, il convient de se demander s'il ne serait pas plus rationnel de faire

subir à l'eau un traitement pour la rendre inactive vis-à-vis du fer et du plomb.

II. — Traitement de l'eau par la chaux.

Le traitement de l'eau par la chaux a été innové à Scheffield et perfectionné à Dessau, il a donné de bons résultats. Les expériences et les recherches que j'ai faites à Vitré me permettent d'affirmer que non seulement il est efficace pour le but qu'on se propose mais qu'il concourt encore à la suppression d'une grande partie des germes et des matières organiques contenus dans l'eau tout en donnant à celle-ci un rôle alimentaire plus en rapport avec les besoins des consommateurs.

Avant de déterminer expérimentalement l'action des solutions calciques sur les tuyaux de plomb, je me suis préoccupé des conditions de solubilité de ces sels dans l'eau.

Quoique le carbonate de chaux soit réputé insoluble dans l'eau privée d'acide carbonique, on en trouve cependant encore plus de 3 centigrammes par litre d'eau soumis à une ébullition à 100° et filtré à cette température. Le sulfate est relativement soluble, la chaux pure se dissout en notables proportions, le chlorure, l'azotate et les autres sels ne pouvant être utilisés mon choix se trouvait limité entre le carbonate et le sulfate produits naturels, et l'oxyde produit artificiel.

Les solutions de sulfate de chaux sont au repos presque sans action sur le plomb, mais tendent néanmoins à la formation d'un enduit plombique sur les parois des tuyaux, elles ne déposent point un enduit isolant; le carbonate de chaux, au contraire, joue un rôle protecteur.

Dans les expériences que j'ai instituées, je n'ai pu faire intervenir la pression ni faire varier la gazéification de l'eau dans les conduites pour provoquer des dépôts adhésifs; l'analyse des divers enduits qui colmatent les tuyaux montre qu'il se dépose avec la chaux d'autres bases terreuses incrustantes.

M. Armand Gautier a retiré de ces divers enduits jusqu'à 0 gr. 75 par 100 grammes de plomb.

« En 1875, Reichert eu l'occasion d'étudier la nature du dépôt formé par les eaux potables sur un tuyau de plomb posé à Andernack sur le Rhin depuis plus de 300 ans, recouvert d'un

épais enduit terreux. » Il trouva ce dépôt, constitué de :

Oxyde de plomb	73,96
— de bismuth	0,45
— de cadmium	0,12
— de cuivre	0,32
— de fer	1,55
Alumine	1,03
Chaux	1,09
Magnésie	0,29
Acide phosphorique	8,45
Acide carbonique	1,11
Chlore	1,25
Silice	traces
Eau (chauffée à 110°)	2,16
Eau (chauffée au rouge)	3,98
Substance organique	0,39
Sable et argile (dans les acides)	4,40

En ce qui concerne l'eau de Vitré, il est certain que la silice, qu'elle contient dans des proportions variables, aiderait à la consolidation de l'enduit; d'autre part, la chaux brute contient environ 10 % de matières étrangères, qui donneraient à l'eau une composition analogue à celles qui proviennent des terrains calcaires et déposent des enduits sur le plomb.

Pour réaliser plus facilement l'incorporation du carbonate de chaux, en proportions déterminées, il suffirait de mélanger à l'eau telle que le sol la fournit, une solution saturée de chaux à l'abri de l'air. Un litre de cette solution contient environ 1 gr. 285 de chaux caustique par litre, pouvant minéraliser 15, 20 ou 25 litres d'eau. Pour traiter les 1.000 mètres cubes d'eau qui sont amenés chaque jour à Vitré, il faudrait leur mélanger 66,50 ou 40 mètres cubes de la solution, contenant 80, 60 ou 50 kilogrammes de chaux, suivant le titre que l'on voudrait obtenir.

La chaux est préférable au carbonate brut, elle se dissout mieux dans l'eau et en se transformant en carbonate elle absorbe une grande partie de l'acide carbonique de l'eau; elle neutralise donc le principal agent d'attaque des tuyaux. On pourrait saturer de chaux une des sources et la mélanger aux autres dans un bassin de décantation, en proportions déterminées.

Efficacité de cette action pour la protection des tuyaux.

Pour établir la réalité de cette protection et les conditions dans lesquelles on peut la réaliser, j'ai expérimenté vis-à-vis des

tuyaux de plomb des solutions d'eau de Vitré, contenant par litre 3, 5, 7, 10 centigrammes de chaux en les laissant en contact pendant quelques heures, d'abord avec des tuyaux neufs puis avec des tuyaux revêtus d'un enduit protecteur par suite de nombreuses expérimentations à l'abri de l'air. Voici les résultats que j'ai obtenus :

Nature de l'eau	Durée du contact	Plomb neuf plomb-métal par litre	Fer neuf fer-métal par litre
Eau de Vitré + 0 gr. 03 CaO caustique.	12 heures	0.003	0.01
Eau de Vitré + 0 05 CaO —	12 —	traces	traces
Eau de Vitré + 0 07 CaO —	12 —	traces lég.	traces lég.
Eau de Vitré + 0 10 CaO —	12 —	0	traces

En présence du fer et du plomb protégés, le premier par coaltarisation et le second par étamage ou sulfurisation; ces diverses solutions, après un contact à l'abri de l'air et au repos, ne contenaient pas de traces de plomb. L'enduit obtenu avec une solution contenant 0 gr. 10 de chaux par litre, renouvelée tous les 8 jours pendant trois mois, contenait pour 5 centigrammes 0 gr. 015 de plomb-métal et se détachait assez facilement parce qu'il s'était déposé à l'air libre, mais dans les tuyaux en charge la pression de l'eau consolide ces incrustations.

Stérilisation partielle ou totale de l'eau.

Dans certains cas, l'excès de carbonate de chaux se précipite et entraîne les matières organiques et les bactéries. (Miquel et Cambier (1) estiment que par ce procédé on peut diminuer de moitié la teneur de l'eau en matières organiques et la rendre à peu près stérile). Comme les frais d'établissement des bassins de décantation sont relativement considérables, on pourrait profiter de cette installation pour compléter la stérilisation de l'eau par un autre procédé à déterminer.

Amélioration de l'eau au point de vue de son rôle alimentaire.

L'eau purifiée et minéralisée serait sans action sur les canalisations de fer, il n'y aurait plus à craindre la rupture des

1 MIQUEL ET CAMBIER : *Traité de bactériologie pure et appliquée*, Paris, Naud, 1902, p. 992.

conduites ni la production de ces « bouchons » d'oxyde de fer qui gènent la circulation de l'eau; elle conserverait en dissolution les gaz qui y maintiennent la vie aérobie, elle ne pourrait non plus se charger de plomb et causer les regrettables accidents que nous avons signalés; ce sont là des avantages vraiment incontestables mais ce ne seraient pas les seuls bénéfices que l'on retirerait du traitement de l'eau par la chaux, celle-ci serait également améliorée au point de vue de son rôle alimentaire, elle pourrait fournir à l'organisme un produit indispensable à l'accroissement et à la conservation du squelette, que les aliments ordinaires ne fournissent qu'en très petites quantités.

L'eau peut jouer, en effet, le rôle d'introducteur des sels de chaux dans l'organisme.

Chossat (1) l'a démontré en expérimentant sur des pigeons. Ceux-ci, nourris avec du blé qui contenait une quantité de chaux insuffisante pour assurer le développement de leur système osseux, se mirent à absorber beaucoup d'eau, il en déduisit que ces oiseaux trouvaient dans l'eau les éléments que les aliments ordinaires ne pouvaient leur procurer en quantité suffisante. J'ai fait une observation analogue :

Ayant remarqué que des serins que j'élevais dans une volière périssaient très rapidement et ne produisaient point, j'eus l'idée d'ajouter à leur eau peu minéralisée de l'eau de chaux de manière à en incorporer 0 gr. 10 par litre. Depuis cette époque mes oiseaux se portent à merveille et font plusieurs couvées par an.

Une autre remarque que j'ai faite est relative à la quantité énorme de liquide absorbée par nos paysans, non seulement ils s'alimentent de soupe à tous les repas mais ils consomment en outre 6 à 10 litres de cidre par jour. L'alcoolisme n'a fait ses ravages dans nos pays que depuis que le degré du cidre s'est élevé de 3 à 6 et même 8° alcoolique, mais la ration liquide n'a point été augmentée. Il en est de même pour les animaux qui consomment une quantité de liquide considérable, notamment les chevaux, qui sont caractérisés par une panse énorme. J'estime que cette exigence correspond à un besoin de l'organisme; la faible minéralisation des aliments et des eaux oblige à une plus grande consommation.

1 *Compte rendus de l'Académie des Sciences*, t. XVI, p. 356.

Boussingault (1) fit une expérience intéressante pour mettre en évidence le rôle que l'eau peut jouer dans l'alimentation. Il choisit trois jeunes porcelets d'une même portée, de taille identique, il en sacrifia deux et dosa la chaux de leur squelette. Il nourrit le troisième avec des aliments dont la chaux était exactement dosée et de l'eau, après 96 jours il sacrifia l'animal; l'analyse du squelette montra qu'il avait dû absorber environ 140 grammes de chaux dont 98 seulement avaient été fournis par les aliments solides, les 42 grammes restant avaient donc été empruntés à l'eau potable. Il dosa la chaux dans l'eau et constata qu'il en avait été fourni 180 grammes à l'organisme; 140 grammes avaient été utilisés par le squelette, 116 grammes avaient été éliminés par les fèces et les urines, 22 grammes avaient été fixés par des tissus autres que les os.

M. Armand Gautier soutient une opinion analogue :

Il n'est pas douteux, dit-il, que l'eau potable ne participe encore à la constitution de nos os par ses sels minéraux, au moins dans certaines conditions chez l'adulte et tout au moins au cours de la période du développement chez les jeunes animaux.

Un homme, de sa naissance à dix-huit ou vingt ans, construit son squelette. Si l'on tient compte que les os frais contiennent 36 pour 100 de chaux et qu'un squelette d'adulte pèse environ 5.000 grammes, on voit que les os d'un homme fait ont emmagasiné 1.800 grammes de chaux en dix-huit ans, c'est-à-dire 0 gr. 250 de chaux par jour.

Ce n'est pas tout : l'adolescent perd en moyenne par ses urines de 24 heures 0 gr. 220 de chaux, il en rejette 0 gr. 350 par ses fèces; les besoins journaliers sont donc :

Pour la formation du squelette	0 gr. 250
Perdu par les urines	0 220
Perdu par les fèces	0 360
Total	0 gr. 830

Or l'adolescent reçoit journellement par son alimentation moyenne :

260 grammes de viande fraîche, contenant	0 gr. 080
500 grammes de pain	0 250
Légumes secs	0 135
Légumes frais	0 300
Total	0 gr. 765

1 BOUSSINGAULT : *Compte rendus de l'Académie des Sciences*, t. XXII, p. 356 et t. XXIV, p. 486.

Il est donc obligé d'emprunter à l'eau la chaux qui lui manque, soit 0 gr. 065 par jour.

Pour l'adulte les besoins du squelette sont atténués, il ne grandira plus ; nous aurons dans ce cas :

Pour réparer les pertes journalières, par les urines. . .	0 gr. 245
Par les fèces	0 400
Total.	0 gr. 645

Nécessité de cette correction.

J'ai publié, en 1902, un article sur cette question (1) où je concluais dans le même sens; depuis cette époque j'ai fait d'autres constatations. L'analyse des eaux qui ont circulé dans le sol breton montre que celui-ci est très pauvre en sels de chaux, il ne peut en fournir que de très petites quantités aux animaux et aux plantes qui vivent à sa surface. La chaux nécessaire aux animaux ne peut leur être fournie en totalité par les fourrages ou les céréales; ceux-ci, ainsi que je l'ai vérifié, n'en contiennent que des traces, l'eau des mares qu'ils préfèrent à l'eau claire leur restitue les sels dont ils ont besoin. L'eau des puits près des maisons contient en général assez de chaux empruntée aux habitations ou provenant des sécrétions organiques pour fournir aux animaux et aux habitants la dose de chaux qui leur manque, mais il n'en est plus de même quand ils consomment de l'eau des ruisseaux, des fontaines et des cours d'eau et dans les grandes villes pourvues d'un service public, de l'eau qui ne contient que 1 ou 2 centigrammes de chaux par litre.

Observations et expériences.

J'ai observé à Vitré une famille pauvre qui se nourrit de pain et de légumes sous forme de soupe et qui, pour huit personnes, consomme de ce fait 6 kilogrammes de pain par jour et 1 kilogramme de légumes. Cette famille qui compte six enfants de différents âges élimine en moyenne 12 litres d'urine par jour, contenant 1 gr. 76 de chaux; la quantité éliminée par les fèces, étant au moins égale, donne au total 3 gr. 52 par jour. Si l'on ajoute pour 6 personnes en voie d'accroissement 0 gr. 25

1 Bulletin du Laboratoire microbiologique de Vitré, n° 2.

$\times 6 = 1$ gr. 50 de chaux, cela fait un total général de 5 gr. 02 par jour, qui ne peut évidemment pas être fourni par le pain et les légumes, ainsi que j'ai pu le vérifier. Le pain que j'ai analysé contenait 0 gr. 35 de chaux par kilogramme, les pommes de terre en contenaient 0 gr. 26 pour 10 gr. 20 de sels, les navets, les choux contenaient 0 gr. 35 pour 16 grammes de sels. Voici un tableau qui met en évidence ces constatations :

Famille D....., 8 personnes; salaire total, 3 francs par jour; 2 adultes, 6 enfants.

Recette en chaux		Élimination en chaux	
Pain: 6 kilog.	2 gr. 10 (analyse)	Urine . . .	1 gr. 76 (analyse)
Légumes: 2 kilog.	0 60 (évaluation)	Fèces . . .	1 76 (évaluation)
15 litres eau	0 15 (analyse)	Accroissement	
500 gr. viande (charcuterie)	0 08 (analyse)	(6 enfants) .	1 50 id.
Total	2 gr. 93	Total . .	5 gr. 02
	Différence.		2 gr. 09

Apport de l'eau dans la minéralisation de certains aliments.

Ces 2 gr. 09 de chaux qui manquent devraient être fournis par l'eau.

La minéralisation de l'eau a d'autant plus d'importance qu'elle entre dans la composition d'autres aliments; les sauces, les bouillons concentrés, s'enrichissent en chaux aux dépens de l'eau. Pour mettre mieux en évidence cette influence de l'eau dans la minéralisation des aliments, j'ai dressé un tableau comparatif des quantités de chaux fournies au pain de munition par l'eau de différentes villes, sachant que chaque pain de 1 k. 500 contient les sels de 0 gr. 826 d'eau :

L'eau de Vitré, de Rennes, de Fougères fournit.		8 milligr. de chaux
— de Saint-Malo	—	46 —
— de Seine, à Paris	—	74 —
— du Rhône, à Lyon.	—	65 —
— de la ville d'Évian	—	82 —
— de la ville de Bordeaux	—	70 —
— — d'Arles.	—	50 —
— — de Royan	—	128 —
— — de Rouen	—	140 —

Lorsqu'on a remplacé à Vitré, à Rennes et à Fougères l'eau des anciens puits par l'eau des services d'eau, on a modifié profondément la composition des principaux aliments. Ces puits donnaient de l'eau dont le degré hydrotimétrique variait de 20 à 30°, contenant de 7 à 15 centigrammes de chaux, en moyenne : 0 gr. 10 par litre.

Par la substitution de l'eau des services d'eau,

le pain	a perdu, par kilogr.,	de 0 gr.05 à 0 gr.12	de Ca O
le bouillon.	— —	de 0 06 à 0 14	—
la bière et les boissons analogues	— —	de 0 07 à 0 15	—

En supposant que chaque personne incorpore chaque jour en moyenne trois litres d'eau sous différentes formes, la perte quotidienne en chaux est donc pour chaque individu de 21 à 45 centigrammes.

Renseignements sanitaires.

Cette diminution de la ration en chaux a-t-elle eu des inconvénients?

Deux choses semblent le prouver :

1° La mortalité générale dans les différentes villes, malgré la disparition presque complète des maladies épidémiques et contagieuses, n'a pas diminué.

A Rennes, en 1877, il y a eu 1.812 décès (c'était avant l'installation du service d'eau); depuis cette installation et pendant une période de dix ans après 1892, voici la mortalité annuelle pour une population de 70.000 habitants environ :

En 1892, 1.751 décès dont 272 attribués officiellement à la phthisie pulmonaire.

» 1893, 2.145	» »	327	—	—
» 1894, 1.845	» »	348	—	—
» 1895, 1.770	» »	326	—	—
» 1896, 1.740	» »	203	—	—
» 1897, 1.663	» »	318	—	—
» 1898, 1.775	» »	286	—	—
» 1899, 1.951	» »	309	—	—
» 1900, 2.030	» »	312	—	—
» 1901, 1.950	» »	410	—	—

En 1900, M. le docteur Bodin, dans son *rapport sur les*

épidémies dans le département d'Ille-et-Vilaine pendant l'année 1899 (1), s'exprime ainsi :

« En 1899, il y a eu à Rennes 2.075 décès soit 2.93 % de la population, et si l'on étudie la façon dont se décomposent ces décès, on voit que les maladies épidémiques n'y rentrent que pour une proportion relativement faible, donnant 133 décès, soit 6.4 % du chiffre mortuaire total et que les causes de mort les plus fréquentes ont été la tuberculose sous toutes ses formes et les affections cérébrales.

« Pour les maladies épidémiques, il y a 23 décès par rougeole, 25 par diphtérie, 4 par grippe et 54 par fièvre typhoïde. »

A ces renseignements, j'ajoute ceux que j'ai recueillis à Vitré :

De 1892 à 1897 inclus, pendant les six années qui ont précédé l'installation du service d'eau, il y a eu 1.410 décès, de 1898 à 1903, pendant les six années qui ont suivi 1.532 soit une augmentation de 122 décès; c'est pendant cette période que ce sont produits les empoisonnements saturnins, de 1899 à 1901; aussi dois-je ajouter que de 1902 inclus à 1907 inclus il y a eu 1.476 décès, soit 66 de plus que dans la période qui a précédé immédiatement l'installation du service d'eau. La population n'a pas augmenté et la natalité a diminué : de 1887 à 1896 il est né 2.020 enfants, de 1898 à 1907 1.918 seulement, en 1907 tout particulièrement il n'y a eu que 160 naissances pour 277 décès;

2° On constate dans toute la Bretagne la prédominance des affections tuberculeuses sur les autres maladies. Le rachitisme est fréquent chez les enfants, la dentition est défectueuse chez les adultes, les médecins et les dentistes que j'ai interrogés ont été unanimes dans cette constatation.

Conclusions.

De tout ce qui précède je puis conclure que le traitement de l'eau par la chaux peut *seul* empêcher l'attaque des tuyaux, qu'il peut être facilement institué et qu'il permet, au surplus, de stériliser l'eau et d'augmenter considérablement sa valeur au point de vue alimentaire, à tel point qu'on peut supposer que cette amélioration aurait un retentissement sur la santé publique.

1 *Compte rendu du Conseil central d'Hygiène d'Ille-et-Vilaine*, p. 114.

Il faut reconnaître, en effet, que malgré des travaux très coûteux d'adduction d'eau, la situation sanitaire ne s'est pas améliorée dans les villes, puisque la disparition des maladies épidémiques a été compensée très largement par le développement de la tuberculose que l'on traite généralement par un *régime alimentaire phosphaté-calciq*ue et qui se manifeste souvent par la décalcification du squelette,

CONCLUSIONS GÉNÉRALES

1° Les eaux peu minéralisées, généralement consommées en Bretagne, provenant des citernes, des puits isolés, des cours d'eau ou des services publics, attaquent les tuyaux de plomb et de fer employés à leur canalisation;

2° L'action de l'eau sur ces métaux s'exerce avec d'autant plus d'énergie qu'elle ne peut déposer sur leurs parois un enduit protecteur;

3° L'attaque des tuyaux de plomb a pour conséquence de mettre en dissolution ou en suspension dans l'eau des composés éminemment toxiques même à très petites doses, que l'on ne peut éliminer par la filtration, et dont on ne pourrait empêcher la formation par un écoulement continu;

4° L'attaque des canalisations de fer met en suspension dans l'eau des composés ferriques insolubles qui obstruent les conduites et servent de soutien végétatif à des organismes inférieurs; elle met en dissolution des composés ferreux qui sont introduits dans l'organisme à très hautes doses et peuvent dans certains cas exercer une action nuisible. Cette oxydation des tuyaux absorbe l'oxygène contenu dans l'eau et favorise le développement des germes anaérobies. Elle peut, au bout de quelque temps, produire en certains points des fissures par lesquelles peuvent s'introduire les liquides contaminés du sol;

5° La coaltarisation des grandes conduites s'oppose dans une certaine mesure à l'attaque de la fonte mais ne suffit pas à assurer la protection des petites conduites en fer étiré. On ne saurait utiliser dans des canalisations

soumises à des chocs violents les tuyaux de fer émaillés ou doublés de verre, non plus que les tuyaux de plomb doublés d'étain;

6° Les eaux qui contiennent plus de 0 gr. 07 de chaux par litre exercent une action presque nulle sur les tuyaux de plomb neufs, elles déposent très rapidement sous l'influence des variations de pression un enduit isolant qui met les tuyaux à l'abri de toute attaque;

7° On peut sans grands frais et assez facilement incorporer à l'eau des doses de chaux déterminées;

8° Cette minéralisation artificielle a non seulement pour résultat de préserver les canalisations, mais elle permet aussi de précipiter une grande partie des matières organiques et des germes que l'eau contient. En outre, elle en augmente la valeur alimentaire, et lui permet de fournir aux êtres vivants la chaux nécessaire à la constitution et à l'entretien du squelette et dont une partie importante leur est fournie dans la plupart des villes de France par l'eau des puits ou des services publics;

9° Je propose donc de traiter par la chaux toutes les eaux destinées à l'alimentation, qui contiennent moins de TROIS centigrammes de chaux par litre.

Vu, bon à imprimer :
Le Président de la Thèse,
G. BOUCHARDAT.

Vu :
Le Directeur de l'École,
L. GUIGNARD.

Vu et permis d'imprimer :
Le Vice-Recteur de l'Académie de Paris,
L. LIARD.

